ISBN 978-4-908553-06-6

海洋観測ガイドライン
第七巻
Underway

日本海洋学会編

2015 年 9 月

This page left intentionally blank

序

気候変化に対する緩和策・適応策の策定が喫緊の課題とされており、海洋においても環境変化の実態を知ることの重要性が高まっている。全球規模での環境変化を監視するためには、適切な計測・分析標準のもとに、トレーサビリティや比較可能性（comparability）が確保され、かつ、その不確かさ（uncertainty）が明確にされているデータの公開が不可欠となることは言うまでもない。

近年では、各国の連携協力のもと、WOCE 測線の再観測によって海洋内部の変動に関する知見が蓄積され、気候変化に関する国際パネルの第5次評価報告書にその成果が引用されている。また、気候変動研究に用いる全ての測定値を完全に SI トレーサブルにするための対策が講じられるよう、国際度量衡会議から関係機関への勧告がなされている。さらに、栄養塩標準物質も普及しはじめている。このように、データの比較可能性やそれが鍵となる研究、標準物質に係る研究開発が進展している。

一方、観測や分析に用いられるガイドラインは、これらの進展を反映しているとは言い難い。我が国においては、気象庁が 1999 年に発行した「海洋観測指針」が比較的広く活用されていたが、その記述は必ずしも最新のものとは言えず、かつ、現在は入手困難である。2010 年には、WOCE マニュアルを改訂する形で、GO-SHIP 海洋観測マニュアル（IOCCP Report No.14, 2010）が発行されたが、これは外洋における Repeat Hydrography 用のもので、幅広いユーザーを想定したものではない。また、他にも種々のマニュアルやガイドラインが存在するが、あるものは日本語のみ、またあるものは英語のみ、といった状況であり、さらに、最新の内容とそうでないものが混在している。

この現状を踏まえ、日本海洋学会は、海洋観測ガイドライン編集委員会を発足させ、既存のガイドライン類を精査・整理し、必要な更新と不足を補って統合し、最新の海洋観測法や分析法を記載した「海洋観測ガイドライン」を発行し、日本海洋学会の Web ページにおいて広く公開することとした。

本ガイドラインは逐次更新することで、常に最新のものが利用できるようにすることを意図している。本ガイドラインが多くの観測者に用いられ、海洋学の進展に役立つことを期待している。

海洋観測ガイドライン編集委員会
委員長　河野　健

This page left intentionally blank

執筆者一覧

青山　道夫	福島大学環境放射能研究所/海洋研究開発機構 RCGC
荒巻　能史	国立環境研究所
石井　雅男	気象研究所
内田　裕	海洋研究開発機構地球環境観測研究開発センター
梅澤　有	長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科
太田　尚志	石巻専修大学
小川　浩史	東京大学大気海洋研究所
小澤　知史	マリン･ワーク･ジャパン
乙坂　重嘉	日本原子力研究開発機構
小畑　元	東京大学大気海洋研究所
帰山　秀樹	水産総合研究センター中央水産研究所
片山　健一	マリン･ワーク･ジャパン
河野　健	海洋研究開発機構
木津　昭一	東北大学 大学院理学研究科
熊本　雄一郎	海洋研究開発機構
纐纈　慎也	海洋研究開発機構 RCGC
小島　茂明	東京大学大学院新領域創成科学研究科／大気海洋研究所
小杉　如央	気象研究所
齊藤　宏明	東京大学大気海洋研究所
佐々木建一	海洋研究開発機構
笹野　大輔	気象研究所
佐藤　弘康	マリン・ワーク・ジャパン
佐藤　光秀	東京大学大学院農学生命科学研究科
須賀　利雄	東北大学大学院理学研究科
鈴木　亨	日本水路協会　海洋情報研究センター
鈴木　光次	北海道大学
髙谷　祐介	気象庁地球環境･海洋部
高槻　靖	気象研究所
千葉　早苗	海洋研究開発機構
豊田　威信	北海道大学
中岡　慎一郎	国立環境研究所
中野　俊也	気象庁 地球環境･海洋部
成田 尚史	東海大学海洋学部
橋濱 史典	東京海洋大学
林　和彦	気象庁 地球環境･海洋部
平譯　享	北海道大学大学院水産科学研究院

牧　　秀明　　国立環境研究所
松永　浩志　　マリン･ワーク･ジャパン
松本慧太郎　　マリン・ワーク・ジャパン
道田　豊　　東京大学大気海洋研究所国際連携研究センター
宮尾　孝　　気象庁 地球環境･海洋部
森田　貴己　　水産総合研究センター中央水産研究所
横川　太一　　海洋研究開発機構
芳村　毅　　電力中央研究所

査読者一覧

安藤　健太郎　海洋研究開発機構地球環境観測研究開発センター
石坂　丞二　名古屋大学
伊東　素代　海洋研究開発機構北極環境変動総合研究センター
植木　巌　海洋研究開発機構地球環境観測研究開発センター
植原　量行　東海大学海洋学部
牛尾　収輝　国立極地研究所・北極圏環境研究センター
内田　裕　海洋研究開発機構地球環境観測研究開発センター
梅澤　有　長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科
太田　尚志　石巻専修大学　理工学部
長船　哲史　海洋研究開発機構地球環境観測研究開発センター
乙坂　重嘉　日本原子力研究開発機構
勝又　勝郎　海洋研究開発機構地球環境観測研究開発センター
粥川　洋平　産業技術総合研究所計量標準総合センター
川合　義美　海洋研究開発機構地球環境観測研究開発センター
川口　悠介　海洋研究開発機構北極環境変動総合研究センター
日下部　正志　海洋生物研究所
熊本　雄一郎　海洋研究開発機構地球環境観測研究開発センター
纐纈　慎也　海洋研究開発機構地球環境観測研究開発センター
後藤　浩一　環境総合テクノス
小林　大洋　海洋研究開発機構地球環境観測研究開発センター
小松　大祐　東海大学 海洋学部
齊藤　宏明　東京大学大気海洋研究所
笹岡　晃征　海洋研究開発機構地球環境観測研究開発センター
佐藤　光秀　東京大学大学院農学生命科学研究科
佐野　雅美　東京大学大気海洋研究所
重光　雅仁　海洋研究開発機構地球環境観測研究開発センター
下島　公紀　九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所
清水　勇吾　水産総合研究センター中央水産研究所
須賀　利雄　東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻
鈴木　光次　北海道大学大学院地球環境科学研究院
清家　弘治　東京大学大気海洋研究所
高槻　靖　気象研究所海洋・地球化学研究部
武田　重信　長崎大学水産学部
津田　敦　東京大学大気海洋研究所
時枝　隆之　気象大学校
中口　譲　近畿大学 理工学部
中野　俊也　気象庁 地球環境・海洋部
永野　憲　海洋研究開発機構地球環境観測研究開発センター
中山　典子　東京大学 大気海洋研究所

成田　尚史　　東海大学海洋学部
西岡　純　　北海道大学低温科学研究所
仁科　文子　　鹿児島大学水産学部
西野　茂人　　海洋研究開発機構北極環境変動総合研究センター
則末　和宏　　新潟大学理学部
橋濱　史典　　東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科
細田　滋毅　　海洋研究開発機構地球環境観測研究開発センター
松本　剛　　琉球大学
村田　昌彦　　海洋研究開発機構地球環境観測研究開発センター
山下　洋平　　北海道大学 地球環境科学研究院
横川　太一　　国立研究開発法人海洋研究開発機構
海洋生命理工学研究開発センター
吉川　久幸　　北海道大学
芳村　毅　　電力中央研究所環境科学研究所
渡邊　朝生　　水産総合研究センター東北区水産研究所

目次

	序		
	執筆者一覧		
	査読者一覧		
Vol. 1	品質管理と標準物質		
Chap. 1	観測量と国際単位系 SI	G101JP:001-007	青山道夫
Chap. 2	標準機器・標準物質による精度管理	G102JP:001-009	林和彦・内田裕・青山道夫
Chap. 3	全球海洋観測システム（GOOS）の必須海洋変数（Essential Ocean Variables）	G103JP:001-006	石井雅男・須賀利雄・千葉早苗
Chap. 4	項目間比較による精度管理	執筆中	内田裕・青山道夫・石井雅男
Chap. 5	データの公開と国際交換	G105JP:001-010	鈴木亨・道田豊
Chap. 6	国際海水熱力学方程式 2010（TEOS-10）	執筆中	内田裕ほか
Vol. 2	物理観測		
Chap. 1	採水	G201JP:001-019	中野俊也・小畑 元・片山健一・小澤知史・松永浩志
Chap. 2	水温	G202JP:001-002	中野俊也
Chap. 3	塩分	G203JP:001-015	河野健
Chap. 4	海水の密度	G204JP:001	内田裕
Chap. 5	透明度	G205JP:001-002	中野俊也
Vol. 3	採水分析（溶存態）		
Chap. 1	溶存酸素	G301JP: 001-030	熊本雄一郎・高谷祐介・宮尾孝・佐藤弘康・松本慧太郎
Chap. 2	ガス分画連続流れ方式の分析装置を用いた高精度で相互比較可能な海水中の溶存栄養塩類（N, P, Si）分析方法	G302JP:001-017	青山道夫
Chap. 3	微量金属	G303JP:001-004	小畑元
Chap. 4	DIC	G304JP:001	石井雅男
Chap. 5	全アルカリ度（分光光度法）	G305JP:001-010	石井雅男・小杉如央
Chap. 6	pH	G306JP:001	石井雅男
Chap. 7	pCO_2	G307JP:001	石井雅男
Chap. 8	クロロフルオロカーボン類および六フッ化硫黄	G308JP:001-009	佐々木建一
Chap. 9	炭素同位体比（$\Delta^{14}C$、$\delta^{13}C$）	G309JP:001-018	熊本雄一郎・荒巻能史

Chap. 10	DOC/DON/DOP	G310JP:001-013	小川浩史
Vol. 4	採水分析 II（粒子態）		
Chap. 1	粒子態有機炭素(POC)，粒子態窒素 (PN)，および粒子態リン (PP)	G401JP:001-006	芳村 毅
Chap. 2	生物ケイ酸	G402JP:001-004	橋濱史典
Chap. 3	粒子状有機物の炭素・窒素安定同位体比	G403JP:001-007	梅澤有
Chap. 4	植物色素	G404JP:001-005	鈴木光次
Chap. 5	細菌および従属栄養性微小鞭毛虫類		
Chapter 5-1	細菌および従属栄養性微小鞭毛虫類：蛍光顕微鏡による細菌の計数	G4051JP:001-006	横川太一
Chapter 5-2	細菌および従属栄養性微小鞭毛虫類：フローサイトメトリーによる細菌の計数	G4052JP:001-004	佐藤光秀
Chap. 6	微小動物プランクトンの定量	G406JP:001-006	太田尚志
Chap. 7	基礎生産	G407JP:001-003	鈴木光次
Chap. 8	濁度・SS	執筆中	太田秀和
Chap. 9	TP,TN、COD（規制項目として）	執筆中	太田秀和
Vol. 5	底質分析		
Chap. 1	海底堆積物採取	G501JP:001-003	成田 尚史
Chap. 2	含水率・空隙率	G502JP:001-006	成田 尚史
Chap. 3	焼却減量	G504JP:001-003	成田 尚史
Chap. 4	粒度組成	G505JP:001-011	成田 尚史
Chap. 5	主成分組成	執筆中	成田 尚史
Chap. 6	間隙水	執筆中	成田 尚史
Vol. 6	プランクトン・ベントス		
Chap. 1	プランクトンネット	G601JP:001-009	齊藤宏明
Chap. 2	底生生物（ベントス）	G602JP:001-006	小島茂明
Vol. 7	**Underway**		
Chap. 1	**pCO_2**	**G701JP:001-007**	**笹野大輔・中岡慎一郎**
Chap. 2	**ADCP**	**G702JP:001-005**	**纐纈慎也**
Chap. 3	**水深**	**執筆中**	**内田裕・末吉惣一郎**
Chap. 4	**海上気象**	**G704JP:001-141**	**中野俊也**
Chap. 5	**海氷**	**G705JP:001-037**	**豊田威信**
Chap. 6	**光環境（物理、生物）**	**執筆中**	**虎谷充浩・小林拓**
Vol. 8	センサー観測		
Chap. 1	TSG	執筆中	内田裕

Chap. 2	XBT／XCTD	G802JP:001-013	木津昭一
Chap. 3	電気伝導度水温水深計（外洋観測）	G803JP:001-011	内田裕
Chap. 4	沿岸域における CTD 観測	執筆中	太田秀和
Chap. 5	溶存酸素センサー（CTD 観測用）	G805JP:001-018	内田裕・高槻靖
Chap. 6	蛍光光度計	執筆中	内田裕
Chap. 7	透過度・濁度計	執筆中	内田裕・荒川久幸
Chap. 8	海洋中の光	G808JP:001-008	平譯亨・鈴木光次
Chap. 9	降下式超音波流速プロファイラ（LADCP）観測	G809JP:001-007	纐纈慎也
Vol. 9	天然および人工放射能		
Chap. 1	海水	執筆中	青山道夫
Chap. 2	海底堆積物	G902JP:001-008	乙坂 重嘉・成田 尚史
Chap. 3	大型生物	G903JP:001-004	森田貴巳
Chap. 4	プランクトン・ベントス	G904JP:001-004	帰山秀樹
Vol. 10	バックグラウンド汚染物質		
Chap. 1	重金属	執筆中	太田秀和
Chap. 2	石油・炭化水素	G1002JP:001-014	牧秀明
Chap. 3	マイクロプラスチック（表層水の曳網観測）	G1003JP:001-009	宮尾孝
Chap. 4	浮遊汚染物質（船からの目視観測）	G1004JP:001-008	宮尾孝
Chap. 5	残留性有機汚染物質	執筆中	山下信義
Chap. 6	新規残留性有機汚染物質（2009 年以降）	執筆中	山下信義

担当編集者一覧

This page left intentionally blank

pCO_2

○笹野 大輔（気象研究所），中岡 慎一郎（国立環境研究所）

本章では、海水と気液平衡状態にある空気中における二酸化炭素分圧（pCO_2）の連続測定を取り扱う。試料には、船底部から連続的に揚水される表面海水を用いる。pCO_2 は、ヘンリーの法則により海水中の CO_2(aq)の濃度に比例する。洋上大気中の pCO_2 と比較することにより、海水が二酸化炭素について過飽和か不飽和かを調べることができる。

1、定義

二酸化炭素濃度（xCO_2）は、乾燥空気中のモル分率として単位 ppm で表す。大気と海洋の間での二酸化炭素の放出や吸収のフラックスを考える場合には、飽和水蒸気圧を考慮して濃度を圧力に変換する。二酸化炭素を理想気体として扱う場合にその分圧を pCO_2 と表記し、単位μatm で表す。表面海水の pCO_2 が大気よりも低いと正味として二酸化炭素が大気から海洋に吸収され、高いと海洋から大気に放出される。

2、測定原理

二酸化炭素ガスは特定波長の赤外線を吸収する性質を持つ。この吸収量は xCO_2 に依存するため、xCO_2 が既知の標準ガスと試料空気の赤外線の吸収量を比較することで、試料空気中の xCO_2 を測定することができる。

表面海水の xCO_2 は表面海水と十分曝露させて気液平衡状態にある空気を試料空気として測定する。平衡器内を流れる海水の体積は、試料空気の体積に比べて十分大きいため、気液間の二酸化炭素交換に伴う海水の xCO_2 変化は問題とならない。

3、観測装置

観測装置は、分析計、平衡器、平衡器水温計、試料および標準ガスの配管、乾燥システム、制御装置で構成される。ここでは、一般に用いられている装置の一例について記述する。Figure1 に観測装置経路図の一例を示す。

3-1 分析計

xCO_2 の測定には、非分散形赤外線ガス分析計（Non-dispersive infrared gas analyzer: NDIR）が一般的に用いられている。この章では NDIR を用いたシステムを念頭に置いた説明を行う。船上観測においては、分析計が移動や衝撃に耐えられる必要がある。また、同じ条件で測定を行うため、セル内の温度や気圧をできる限り一定にする必要がある。

NDIR は基本的に、赤外線光源、試料セル、参照セル、検出器から構成される。赤外線光源から放出された赤外線は、試料セルと参照セルに入射する。試料セル内には大気試料、海水とで気液平衡となった空気試料、標準ガスを流す。参照セル内には二酸化炭素が含まれていない純窒素ガス、または二酸化炭素濃度既知の参照ガスを流す。赤外線はどちらのセルでも二酸化炭素濃度に応じて減衰し、試料ガスと参照ガスとの間の濃度差に対応した出力値を得ることができる。

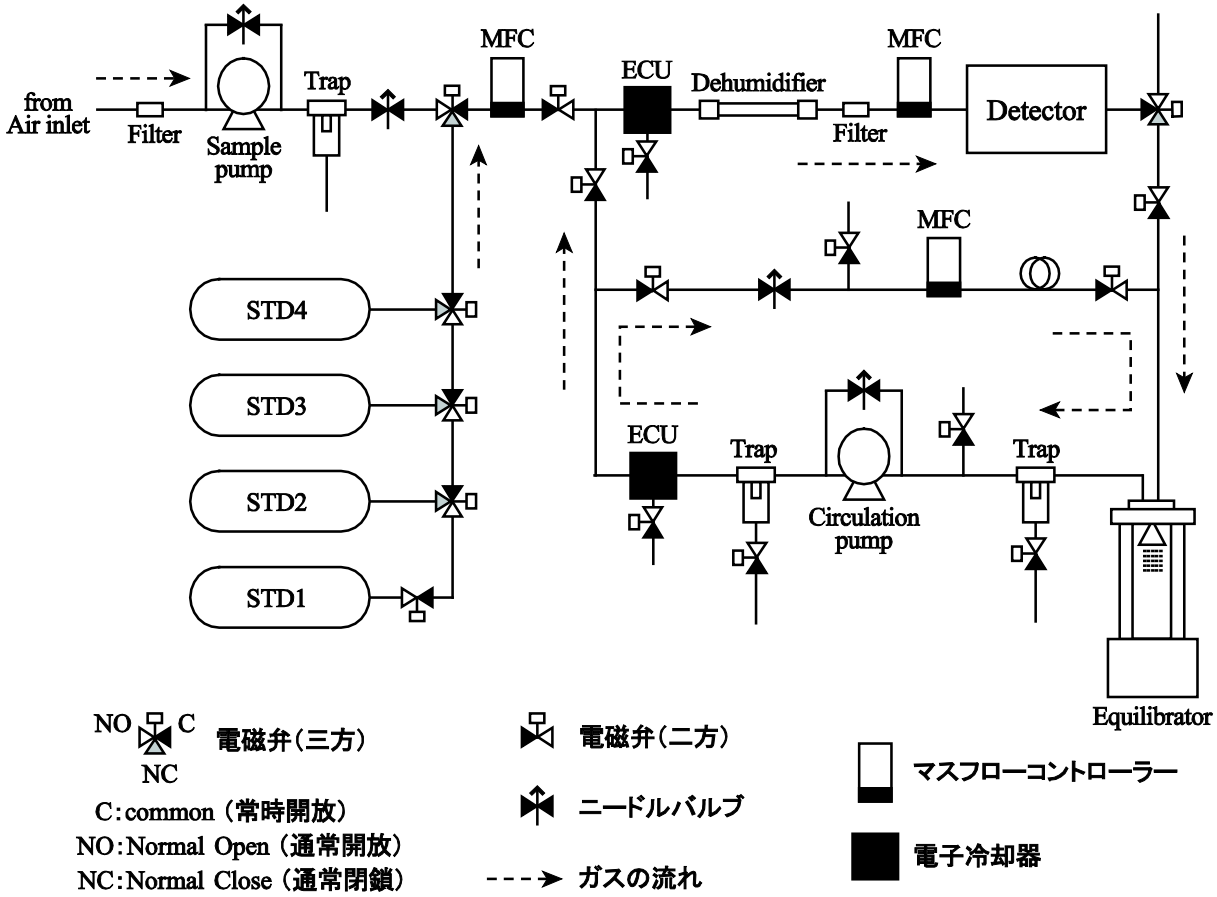


Figure1 Schematic showing the layout of the analytical system described here.

近年では、レーザー光を用いたキャビティリングダウン分析計（Cavity ring-down spectroscopy: CRDS）が普及しつつあるが、二酸化炭素分圧測定法は、本章で述べた内容と基本的に変わらない。

3-2 平衡器

表面海水を空気と効率よく接触させる装置として、平衡器を用いる。平衡器は船底から揚水した表面海水を連続的に流し、容器内の空気を海水に曝露させることで、この空気と表面海水との間で二酸化炭素を気液平衡にさせる装置である。平衡器にはシャワー型の他、膜式、バブリングとミキサーの機構を備えたタンデム式などいくつかの種類がある。ここでは、最も普及しているシャワー型平衡器について述べる。

シャワー型平衡器は、平衡器内で表面海水をシャワーとして連続的に流すことで気液平衡を達成する。平衡器内での海水の流量は 2～5 L min^{-1} 程度に調整する。分光計から排出された空気は平衡器内に戻して循環させる。平衡空気を循環させることで、実験室からの空気の出入りを極力抑え、海水との気液平衡に要する時間を短縮することができる。平衡空気中の xCO_2 は温度に対して敏感に変化するので、平衡器内の水温を常に記録することが重要である。また、平衡器内の気圧も記録することが推奨される。平衡器の周囲に、試料と同じ表面海水を流すウォータージャケットを取り付けることで平衡器内の温度が表面水温近くになるよう

保つことができる。さらに循環空気が流れる配管をウォータージャケットに通すことで、平衡器内に入る循環空気の温度を表面水温に近づけている。シャワーノズルが海水中の粒子やプランクトンで目詰まりするのを防ぐため平衡器の前にフィルターを設置する必要があり、定期的なメンテナンスが必要である。

3-3 平衡器水温計

平衡器の水温計には、白金抵抗温度計が一般的に用いられる。白金抵抗温度計の器差補正を行うため、ITS-90 温度計にトレーサブルな精度の良い温度計（たとえば較正済み棒温度計）と比較し、1 次式で近似した較正直線を得る必要がある。この作業は、各航海前あるいは航海中に行う必要がある。

航海前に器差補正を行う場合は、恒温槽を用いて行う。実験室にて、対象となる海域の水温範囲内で恒温槽水温を約 2.5℃刻みで変化させ、精度のよい温度計とともに白金抵抗温度計で測温を行うことで較正直線を得る。航海中に器差補正を行う場合には、表面海水を用いて行う。平衡器に導入する前の海水を定期的に採水し、較正済み棒温度計で測温する。同時刻の白金抵抗温度計による水温と比較することで較正直線を得る。

3-4 試料および標準ガスの配管

3-4-1 大気試料採取口

大気試料を分析計に導入するため、外気を取り入れて分析計まで配管を接続する。大気試料採取口の先端には筒状の構造物を取り付け、異物吸引を防ぐため網等を張る。また、水滴が配管内に入らないように先端を傾斜させる。配管内に空気が滞留しないよう、測定のシーケンスに関わらず 2～3L min^{-1} の流速で大気を常に取り入れる。船の排気による汚染を防ぐために、大気試料採取口は船首に取り付けるのが良い。船の動きによっては排気による汚染を受けてしまうため、後から汚染を判断できるように相対風向・風速を記録しておく。

3-4-2 配管および継ぎ手

配管には、二酸化炭素を吸収・透過せず、湿った空気に触れても腐食しない材質を利用する。標準ガスは高圧容器に充填する際に除湿されているので、標準ガス周辺の配管にはステンレス管を使用する。その他の配管には、高密度のテフロン®PFA が適している。二酸化炭素が透過しにくく、半透明で配管内の異常を目視確認できるためである。

配管からのリークは観測の大敵なので、配管をやり直したときは、リークがないか、しっかり確認しなければならない。標準ガスが失われてしまうと観測ができなくなる。平衡器を含む循環系配管でリークすると、平衡器内の海水位が上昇し、最悪の場合、配管内や NDIR に海水が入ってしまう。金属製の配管や電磁弁に海水が入ると錆びてしまい、二酸化炭素と強い相互作用が起きて正確に測定できなくなるので、配管全体を新しく交換するか、電磁弁はきれいに分解掃除する。ダイアフラムポンプも、ダイアフラムや弁を掃除する。

3-5 乾燥システム

水蒸気は赤外線を吸収するため、分析計へ導入する前に試料空気から水蒸気を除去する必要がある。試料空気を乾燥させることにより、配管内での凝結を防止するほか、分析の誤差

要因となる水蒸気による希釈効果や圧力広がり効果を考慮する必要がなくなる。試料空気の乾燥には、電子冷却器、パーマピュア社の Nafion®ガスドライヤーあるいは乾燥剤の過塩素酸マグネシウムなどを使用する。

3-6 制御装置

連続測定を行うため、自動で制御を行う制御・データ処理部および経路を変えるためのガス切替システムが必要である。制御・データ処理部は、自動測定制御装置、データ処理装置（各計器からの測定値の記録等のため）から構成される。ガス切替システムは、電磁弁、切替用バルブ、マスフローコントローラー・マスフローメーターから構成される。

4、試薬類

4-1 標準ガス

標準ガスは、実際に観測現場で試料を測定する際に値付けに使用するもので、使用前後に濃度を測定し、WMO の標準ガススケールにトレーサブルな値付けを行う。標準ガスは内部をきれいに研磨したアルミ製高圧容器に貯蔵するのが最も安定である。大気に組成が近いガスが必要なため、精製空気をベースとした二酸化炭素の混合高圧ガスを用いる必要がある。

NDIR の検出器から得られる出力値は非線形である。海水試料の測定精度 1ppm 以内を達成するためには 3〜6 本の標準ガスを用いて、応答曲線を 2 次曲線で近似する必要がある。目標の測定精度が 2ppm 以内であれば､2 本の標準ガスを用いて応答曲線を直線近似しても良い。NDIR の場合、前述したように二酸化炭素が含まれていない純窒素ガス、または二酸化炭素濃度既知の参照ガスが必要である。試料濃度を精度よく決定するために、試料の濃度範囲を含むような標準ガスの濃度範囲（例えば 250〜450ppm）を準備する。

4-2 乾燥剤

化学薬品を乾燥剤として用いる方法が、最も効果が高い。電子冷却器や乾燥管を用いた分析システムにおいても、最後に乾燥剤を通して確実に乾燥させる場合が多い。乾燥剤には、過塩素酸マグネシウムが広く用いられる。

5、海水試料

表面海水試料は、配管からの汚染を受けていない事を確かめておくことが重要である。pCO_2 は温度依存性が高いため、平衡器内の温度ができる限り現場水温近くになるようにシステムを設計する。また、平衡器内の水温を測定するだけでなく、船底部（取込口よりも外側）に設置した水温計で表面水温を測定する。表面水温と平衡器水温を監視し、温度差が 0.5℃以内に収まるようにする。温度差が大きいと pCO_2 の補正幅が大きくなり、誤差の原因となる。その場合には海水流量を多くすることにより、海水が船底の取水口から平衡器内に達するまでに生じる温度変化を小さくすることができる。海水試料を船底から導入する配管は、配管内の生物付着を抑制するため、航海の前後または寄港地等にて清水で洗うことが望ましい。

6、分析

6-1 はじめに

以下に示す測定シーケンスは、平衡器内で気液平衡となった空気試料と大気試料を、標準ガス較正と共に順番に測定するように設計したものである。シーケンスは厳密ではなく、場所や目的により最適な方法を選ぶ。観測頻度は現象のスケール(船の速度を考慮)、そして標準ガスの使用量によって決める。

6-2 測定条件の設定

測定条件はデータの品質に影響を与える。装置にもよるが、標準的な例を以下に挙げる。

観測用標準ガス流量	500 cm^3 min^{-1}
大気試料流量	500 cm^3 min^{-1}
参照ガス流量	50 cm^3 min^{-1}
平衡器海水流量	5 dm^3 min^{-1}
観測用標準ガス	4 本
観測用標準ガス測定時間	5 分
大気中 xCO_2 測定時間	5 分
表面海水中 xCO_2 測定時間	10 分
大気－海水平衡到達時間	10 分

6-3 測定時間の設定

以下の項目の合計時間を測定時間として設定する

1. NDIR の出力が一定になるまでに要する時間（安定化時間、または平衡到達時間）
2. NDIR の出力が一定の時間（1 の時間が仮に長くなっても十分カバーできる時間）
3. NDIR へのガス供給を停止してから、NDIR 試料セル内の圧力が大気圧と同等になるまでの時間（20 秒程度）
4. NDIR 計測時間（1 分程度）

観測用標準ガスや試料空気が NDIR のセル内で完全に置換されるまでの時間や平衡器内の気液平衡に要する時間は、平衡器や配管等の長さの影響を受けるため、個々のシステムによって異なる。

6-4 測定シーケンス

装置較正のため、標準ガス一式を定期的に測定する。分析計に NDIR を使用する場合、1.5～3 時間毎に標準ガスの測定を行う必要がある。較正が終わったら、大気と海水試料空気の測定を行う。海水の pCO_2 は大気よりも変動が大きいため、海水試料は大気試料よりも測定回数を多くすると良い。

7、pCO_2 の計算

7-1 計算原理

二酸化炭素観測装置で計算される試料の濃度 xCO_2 は、前述したように乾燥空気中のモル分率（ppm）で求められる。乾燥空気下におけるモル分率と飽和水蒸気圧における分圧 pCO_2（μatm）との間の関係式は以下のように表される。

$$pCO_2 = xCO_2 \cdot (P - pH_2O) \qquad \text{(式 1)}$$

(式 1)において xCO_2 は観測装置から得られた大気および海水試料の濃度、P は観測時の大気圧（μatm）である。pH_2O は飽和水蒸気圧（μatm）で、以下の式（Weiss and Price, 1980）を用いる。

$$pH_2O = \exp(a + b \cdot (100/T) + c \cdot \ln(T/100) + d \cdot S) \qquad \text{(式 2)}$$

(式 2)において、S は海面の塩分を表す。また a、b、c、d は定数、T は絶対温度(K)で表した水温であり、以下のとおりである（t は摂氏（℃）で表した水温）。

a = 24.4543
b = -67.4509
c = -4.8489
d = -0.000544
T = 273.15+t

海水の pCO_2 は水温に強く依存する。船底部取込口から取り入れた海水は、平衡器に到達するまでに何らかの温度変化を受けている。現場水温 T_{sea} での pCO_2 を求めるには、平衡器水温 T_{eq} における pCO_2 を温度補正する必要がある（1-7-2-5 参照）。

7-2 計算手順

7-2-1 水温および塩分の補正

(i) 平衡器水温計 T_{eq} の器差補正
航海前あるいは航海中に得られた較正直線を用いて器差補正を行う。

(ii) 船底部水温計 T_{sea} の器差補正
必要に応じて、船底部水温計の器差補正を行う必要がある。取水口と同深度（たとえば 5m）における CTD 水温値と同時刻の船底部水温値を比較し、船底部水温計の器差を補正する。これを海面水温とする。比較のため、定期的に表面海水をバケツ採水し、較正済み棒温度計で測温すると良い。

(iii) 航走水温塩分計の塩分値の補正
塩分測定部で測定される海水を採水し、AUTOSAL 等で塩分を測定して、航走水温塩分計の塩分値を補正する。

7-2-2 二酸化炭素濃度分析値 xCO_2air および xCO_2eq の計算

大気および海水試料測定前後に行った標準ガス NDIR 出力値を時間内挿し、試料測定時における標準ガス NDIR 出力値を求める。標準ガス濃度ごとに求めた出力値と標準ガス濃度の関係を表す 2 次の近似曲線（検量線）を試料測定時ごとに作成し、大気中の二酸化炭素濃度 $x\mathrm{CO_2air}$ および平衡器内における二酸化炭素濃度 $x\mathrm{CO_2eq}$ を計算する。

7-2-3 大気中の二酸化炭素分圧 pCO_2air の計算

海面水温 T_{sea} および航走水温塩分計の塩分値から、(式 2)より海面における飽和水蒸気圧 $p\mathrm{H_2Osea}$ を求める。大気圧 P、$p\mathrm{H_2Osea}$ および $x\mathrm{CO_2air}$ から、(式 1)より $p\mathrm{CO_2air}$ を求める。

7-2-4 平衡器内における海水の二酸化炭素分圧 pCO_2eq の計算

平衡器水温 T_{eq} および航走水温塩分計の塩分値から、(式 2)より $p\mathrm{H_2Oeq}$ を求める。平衡器内気圧 P_{eq}（あるいは大気圧 P で代用）、$p\mathrm{H_2Oeq}$ および $x\mathrm{CO_2eq}$ から、(式 1)より $p\mathrm{CO_2eq}$ を求める。

7-2-5 表面海水の二酸化炭素分圧 pCO_2sea の計算

$p\mathrm{CO_2eq}$ は、平衡器水温 T_{eq} における分圧である。現場水温 T_{sea} における分圧 $p\mathrm{CO_2sea}$ を求めるには、温度変化を補正する必要がある。これまでに、温度変化に伴う $p\mathrm{CO_2}$ の変化量を表す関係式がいくつか提案されている。例えば、Takahashi et al (1993)によって求められた次の関係式を用いて補正する。

$$p\mathrm{CO_2sea} = p\mathrm{CO_2eq} \cdot \exp\left[0.0423 \cdot \left(T_{sea} - T_{eq}\right)\right] \qquad \text{(式 3)}$$

この式は経験的に求められたものであり、海域に関係なく $p\mathrm{CO_2}$ に約 4%の温度変化があるとして計算をしている。必要に応じて、より精度の高い温度補正方法（たとえば、Copin-Montegut (1988、1989)）を用いると良い。

7-2-6 表面海水の二酸化炭素濃度 xCO_2sea の計算

大気圧 P、$p\mathrm{H_2Osea}$ および $p\mathrm{CO_2sea}$ から、(式 1)より $x\mathrm{CO_2sea}$ を求める。

引用文献

Copin-Montegut, C. (1988). A new formula for the effect of temperature on the partial pressure of CO2 in seawater. Marine Chemistry, 25, 29–37. doi:10.1016/0304-4203(88)90012-6

Copin-Montegut, C. (1989). A new formula for the effect of temperature on the partial pressure of CO2 in seawater. Corrigendum. Marine Chemistry, 27, 143–144.

Takahashi, T., Olafsson, J., Goddard, J. G., Chipman, D. W., & Sutherland, S. C. (1993). Seasonal variation of CO2 and nutrients in the high-latitude surface oceans: A comparative study. Global Biogeochemical Cycles, 7(4), 843–878. doi:10.1029/93GB02263

Weiss, R. F., & Price, B. A. (1980). Nitrous oxide solubility in water and seawater. Marine Chemistry, 8(4), 347–359. doi:10.1016/0304-4203(80)90024-9

DUMMY

ADCP

○纐纈　慎也（海洋研究開発機構）

船舶航走中に流速を測定するシステムのうち、現在広く利用されているのが、超音波式の流速計である。超音波式流速計は発射した超音波パルスの反射波のドップラーシフトを測定することで流速の計測を行う機器で、船底に設置することで航走中の対船流速を測定する。近年（2000 年代）、一般的に使われているのは Teledyne RD Instruments (TRDI)社製の 38kHz, 75kHz, 150kHz のものである。周波数が小さいほどより深く観測が可能だが、鉛直解像度が低くなる。TRDI 公称値では測定最深層と推奨鉛直層がそれぞれ 1000m, 24m (38kHz), 700m, 16m (75kHz), 400m, 8m (150kHz)となっている[1]。これらは船舶の主な調査海域、対象に応じて選ばれるべきである。この際、実際に利用可能な ADCP データの深度はは海況や船舶の運航状況によって異なることに注意が必要である。

本項では、実際の観測に関する留意点やデータプロセスの要点を記述することに重点を置いた。これらは、GO-Ship マニュアル[2]にも詳細に記述されているものである。一方で、ADCP 観測に対する汎用的な知識を重視し測定原理を加え、機種に依存する記述を最小限にした。したがって、初期設定の詳細（設定方法、設定ソフトウェアの扱いなど）などについては、GO-Ship マニュアルやメーカーのマニュアルにて確認されたい。

1、測定原理

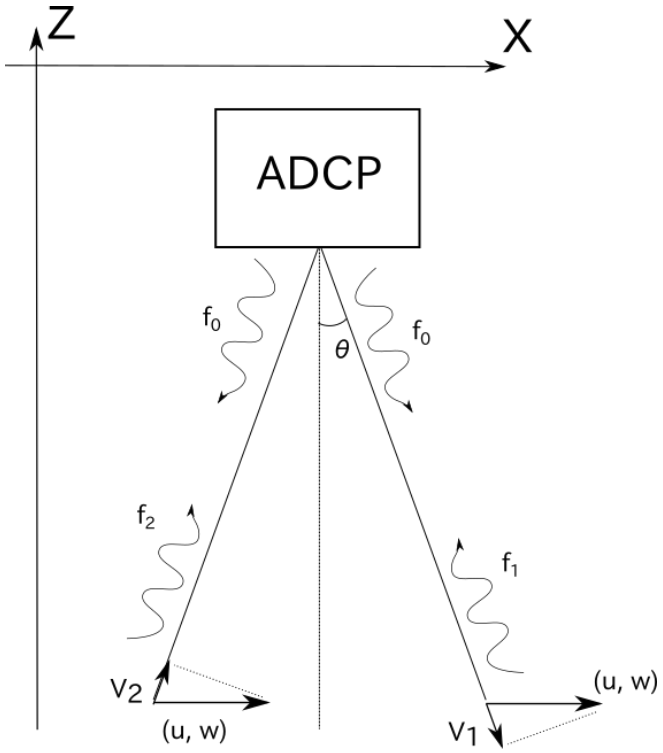


Figure 1 ADCP 測定の x－z 断面模式図. f_0 と f_1, f_2 は送受信周波数。V_1,V_2 は測定される発信方向の相対速度。 (u, w) は断面上の流速。

船底に取り付けた ADCP は一定時間間隔で超音波パルスを発生する。発生した超音波は海中のプランクトン、粒子状物質、及び、密度の不連続面で反射し帰ってくる。反射波の周波数変化を記録し、流速に変換を行う。測定深度は音速 C より計算する。

ある送受波器が周波数 f_0 の超音波を発生させたときパルスの送信方向に V_1 で流される粒子に反射して戻ってきた音波の周波数 f_1 は、

$$f_1 = f_0 \frac{C + V_1}{C - V_1}$$

となる。ここで $V_1 << C$　なので、

$$V_1 = \frac{f_1 - f_0}{2f_0} C$$

としてドップラーシフト（f_1-f_0）より相対速度が計算できる（Fig. 1）。一つの送受波器に対し一方向の速度情報が得られるため、異なる方向を向いた 3 つ以上の送受波器を組み合わせることで流速の三成分を得ることができる。ここでは広く利用されている 4 つの送受波器を備える ADCP を考える。送受波器を鉛直方向に対してそれぞれ x 方向に角度± θ（Fig. 1）, y 方向に± ϕ 傾いて設置し、全ての送受波器が同じ流速を観測していると仮定すれば、各々の送受波器が観測する流速（V_1, V_2, V_3, V_4）は,

$$V_1 = w\,cos\theta + u\,sin\theta$$
$$V_2 = w\,cos\theta - u\,sin\theta$$
$$V_3 = w\,cos\varphi + v\,sin\varphi$$
$$V_4 = w\,cos\varphi - v\,sin\varphi$$

となる。上の 4 つの式を用いて ADCP に対しての流速（u, v, w）を得る。ここで、流速を得るためには、4 つの送受波器が同一の流速を測定しているという仮定があり、実際には機械的なノイズの他に流速の小スケールの擾乱や魚などの存在により乱される可能性がある。4 つの送受波器を用いる場合任意の 3 つの送受波器から 2 組の流速を得ることができるのでこれを測定の安定性の指標として用いるのが一般的である。

2、海流推定

ADCP は基本的に本体に対する相対流速を測定する機器であるため、実際にはジャイロコンパス等による船首方位の情報を用いて地球に対する軸に変換して利用する。この処理は一般に機器メーカーによって提供されるソフトウェア(例えば、[3], [4])によって事後に可能である。

さらに、海流を知りたい場合は、船速を除く必要がある。海底が浅い沿岸では、同様の原理で測定された海底の相対的な速度を用いることで海流を得ることができる。沖合では別途、取得された船位（GPS など）情報から推定する。

3、データ校正、誤差評価

船底 ADCP の観測データには様々な原因によるノイズが乗っており、また、航走中流速の推定には船速の情報が必要であるため測位の誤差も考慮に入れる必要があることから、通常は 5－10 分の時間平均値を使用する。機械的測定ノイズや短周期の船の揺動によるノイズについては、時間平均することである程度抑えられ、その影響については平均に対する標準偏

差で評価することができる。なお、船速が変化する場合は流速推定に非常に大きな誤差が生じる可能性があることに注意が必要である。

一方で、ジャイロコンパスの精度や船に対する ADCP の取り付け方向の誤差に起因する流速測定誤差は、船の進行方向に対して一方向に偏差を与えるため注意して取り除くことが求められる。得られた海底速度(u_b,v_b)と GPS 船速(u_s,v_s)は ADCP の取り付け方向の補整角度 α と観測流速の大きさ補整 β を用いると以下のような関係にある。

$$u_s = -\beta\,(u_b \cos\alpha - v_b \sin\alpha)$$
$$v_s = -\beta\,(u_b \sin\alpha + v_b \cos\alpha)$$

ここで右辺の負の符号は ADCP による海底速度は船速とほぼ逆向きであることによることに注意されたい。この関係を使い、海底速度の得られた期間のデータを使って補整角、大きさ補正は以下の式で与えられる

$$\tan\alpha = \frac{< u_b v_s - v_b u_s >}{< u_b u_s + v_b v_s >}$$
$$\beta = -\frac{< u_b v_s + v_b u_s >}{< u_b^2 + v_b^2 > \cos\alpha}$$

ここで＜＞は算術平均であり、一航海中に得られた海底速度のデータと船速を用いて計算する。得られた α、β を全流速データに対して適用する [5]。

音速については、ADCP 取り付け深度付近の音速（C_{real}）を用いて補正できる。

$$V_{corrected} = V_{adcp}\,\frac{C_{real}}{C_{adcp}}$$

ここで $V_{corrected}$ は補正後流速、V_{adcp}、C_{adcp} は ADCP が記録した流速、音速である。鉛直的な水温、塩分変化による音速の変化は水平流速測定には影響せず、C_{real} は、ADCP 取り付け深度付近の水温、塩分の測定から求める(例えば TEOS-10[6]の式)。この補正は、近年利用が広がりつつある phased array のシステム(例えば、[7])には必要ない。一方、鉛直方向（測定深度）の補正は、鉛直測定層厚（L_{adcp}）を以下の式で補正する（$L_{corrected}$）ことが一般的である。

$$L_{corrected} = L_{adcp}\,\frac{C_{real}}{C_{adcp}}$$

但し、鉛直水温塩分プロファイルが得られている場合は、C_{real} を鉛直層毎に計算する方法や、測深の場合と同様に C_{real} の鉛直積分を利用することもできる。

4、測定時の設定、及び、必要データ

機器の初期設定における注意点としては、測定の精度の評価のため海底まで発信された音波が届く場合はボトムトラックを利用するよう設定することが推奨される。一方でボトムトラックを可能にした発信は、海流の測定に影響を及ぼすため水深が深くなり次第設定を切り替えて運用する。この他、設定の詳細についてはメーカーによって提供される情報を参照に

されたい。

事後のデータ処理には以下のデータを保持しておく必要がある。

- ADCP による相対流速データ
- GPS などによる船位データ
- 船もしくは ADCP 本体の方位情報データ

これらのデータは一般にデータ取得システム(例えば、[4], [8])に直接、船内情報を入力することで同時にアーカイブされる仕様になっている。船舶の装備に依存するが、船位データや方位などについては高品位なものを使用するようにするのが望ましい。加えて、高精度揺動データが利用できる場合は取得、保存しておくことも推奨される。また、一般にデータは発信毎のデータだけでなく、5 分、10 分平均のデータが出力されるようになっているが、研究目的としては発信毎のデータ、及び同様のサンプリング頻度（1－30 秒）を持つ船位、ジャイロデータを保存しておくことが推奨される。多くの場合、メーカーから提供されるソフトウェア([3], [4])で時間平均データに容易に再変換することが可能となっている。

このほか音速補正に利用可能な表層水温、塩分データ、もしくは XCTD、CTD、採水器などによるプロファイルデータがあれば音速補正に利用可能である。

参考文献

[1] Ocean Suveyor ADCP, Teledyne RD Instruments, http://www.rdinstruments.com/surveyor.aspx

[2] Firing, E., and J.M. Hummon (2010): Shipboard ADCP measurements. The GO-SHIP Repeat Hydrography Manual: A Collection of expart reports and guidelines, IOCP Report (14), ICPO Publication Series (134).

[3] WinADCP, Teledyne RD Instruments

[4] UHDAS, University of Hawaii, http://currents.soest.hawaii.edu/uhdas_fromships.html

[5] Joyce, T. M. (1989): On in situ “Calibration” of Shipboard ADCPs, J. Atmos. Oceanic Technol.,6, 169-172.

[6] Ocean Observer ADCP, Teledyne RD Instruments, http://www.rdinstruments.com/observer.aspx

[7] TEOS-10, http://www.teos-10.org

[8] VMDAS, Teledyne RD Instruments

海上気象

○中野俊也（気象庁 地球環境･海洋部）

気象業務は､国際協力のものに成り立っており､船舶における気象観測とその結果を収集することは、予報や暴風雨警報の発表を通じて、自船だけでなく他の船舶の安全航行に役立つ。日本における気象業務を行っている気象庁は、船舶に気象観測測器を備え、観測を行い、観測結果を報告することを義務付けている。本章は、気象庁が刊行した「船舶気象観測指針」（2015）による。

船舶気象観測指針

改訂第7版

気　象　庁

2013

目　　次

第1章　総説 ····· 1頁
1.1　船舶気象観測の目的とその意義 ····· 1
1.2　必要な気象測器 ····· 1
1.3　観測の技術基準 ····· 2
1.4　観測に際しての留意事項 ····· 3
1.5　観測・通報の回数と時刻 ····· 4
1.6　観測の順序 ····· 5
1.7　観測結果の利用 ····· 6
第2章　気圧の観測 ····· 9頁
2.1　定義・単位 ····· 9
2.2　使用測器と設置条件 ····· 9
2.3　アネロイド型指示気圧計 ····· 10
2.4　電気式気圧計 ····· 10
2.5　器差補正 ····· 11
2.6　海面更正 ····· 11
2.7　自記気圧計 ····· 12
第3章　気温と露点温度の観測 ····· 13頁
3.1　定義・単位 ····· 13
3.2　使用測器と設置条件 ····· 13
3.3　乾湿計 ····· 15
3.4　隔測温湿度計 ····· 20
第4章　風の観測 ····· 25頁
4.1　定義・単位 ····· 25
4.2　使用測器と設置条件 ····· 25
4.3　風向の観測 ····· 26
4.4　風速の観測 ····· 27
4.5　真風向・風速の算出 ····· 27
4.6　真風向風速計 ····· 29
4.7　目視による観測 ····· 29
第5章　雲の観測 ····· 39頁
5.1　雲の観測 ····· 39
5.2　雲形の解説 ····· 41
5.3　雲の状態(C_L・C_M・C_H)の観測 ····· 49
第6章　視程の観測 ····· 69頁
6.1　視程の定義 ····· 69
6.2　昼間の観測 ····· 70
6.3　夜間の観測 ····· 70

第7章　大気現象と天気の観測 ・・・

第1章　総説

1.1　船舶気象観測の目的とその意義

船舶の運航と気象とは、非常に密接な関係があることはここで改めて触れるまでもないことであろう。気象観測は、航海術とともに発達し、天気予報の歴史は船舶の安全のために始まったとも言える。事実、世界の天気予報の始まりであるフランスの暴風警報の開始(1856)は、クリミア戦争中、黒海のセバストポリ沖合に集結中の英仏連合艦隊に突如襲来した暴風雨が、多数のフランス軍艦を沈没させてしまった(1854年11月14日)ことを契機としている。

船舶における気象観測は船舶の航行安全を主要な目的とするもので、観測が直ちに自船の航行保安に役立つばかりでなく、気象衛星や気象レーダー、陸上における観測などとともに気象や波浪の解析・予報に利用され、再び船舶の航行保安に役立てられる。また陸上の各種産業・交通その他国民生活に影響を及ぼす気象災害の防止・軽減に重要な貢献をしている。

また、近年地球温暖化など気候問題への対応が人類共通の急務となりつつあり、気象観測の少ない大洋上の観測結果は、地球規模での気候変動の監視等において非常に貴重な役割を担っている。

我が国では、このように重要な意味を持つ船舶による気象観測・通報に関連して、気象業務法及び関連法令により、船舶に対して、

(1)　必要な気象観測測器を備え付けること

(2)　観測を実施すること

(3)　観測成果を電報及び観測表により気象庁に報告すること

を義務付けている(詳細は「第13章　関係法令等」を参照のこと)。

また気象業務はその性格上、広範な国際協力のもとに成り立っている。国際連合の専門機関の一つである世界気象機関(WMO)においては、「1974年の海上における人命の安全のための国際条約(SOLAS条約)」を船舶気象観測・通報の国際規範とし、これを基に技術規則に海上気象業務に関連する事項を種々取り決め、これによって加盟国間の観測の技術基準、気象電報の形式等の国際的統一を図っている。我が国もWMOの一員として、観測や通報の基準について全面的に同機関の規定に沿ったものとしている。

1.2　必要な気象測器

船舶に備え付けなければならない測器として、気象業務法施行規則第3条で次のものを規定している。

(1)　船舶用アネロイド型気圧計又は船舶用電気式気圧計

(2)　温度計

(3)　湿度計(漁船以外の船舶に限る。)

(4)　風速計(漁船以外の船舶であって、遠洋区域を航行区域とするものに限る。)

(5)　風向計(同上)

気象業務法第9条により、(1)から(4)に示す測器は全て検定を受けたものでなければならない。

個々の測器の詳細についてはそれぞれの観測の章で述べるが、一般に測器の取り扱い、保管場所などについては、常に細心の注意を払い、測器はたびたび手入れを行って、その性能・精度を維持するように努めなければならない。

気象測器の検定の有効期間は気象業務法第31条及び気象測器検定規則第15条で定められているが、海上においてはその使用環境等から、測器に狂いが生ずることが陸上に比べてはるかに多いので、検定の有効期間内であっても時々点検を受けることが望ましい。

特に船舶用アネロイド型指示気圧計は構造が複雑な測器であり、少なくとも年2回は比較点検を受けることが望ましい。

これらに対応するため、各国は、WMOの技術規則に基づき、主要港において船舶に対する港湾気象業務として、気圧計その他の測器の比較点検や気象観測に関する指導などを行っている。我が国では現在、横浜・名古屋・神戸地方気象台に港湾気象官を配置し、また札幌・仙台・大阪・福岡管区気象台、沖縄気象台及び気象庁本庁においてもこの港湾気象業務を実施している(詳細は「第12章　気象測器の検定及び点検」を参照のこと。)。

１.３　観測の技術基準

船舶による海上気象観測データは、天気予報など防災への利用を目的としていることから、その観測には一定の精度をもった気象測器を使用するとともに、一定の技術基準で行う必要がある。

前節でも触れ第12章で詳しく述べる気象測器の検定は、測器の精度を一定の基準に保つための制度である。一方、観測の技術基準は気象業務法施行規則第1条の3に「気象庁以外の者の行う観測の技術上の基準」として、観測の手段、観測値の最小位数等を規定している。

さらに目視の種目に関しては、下記の各種の表を告示で定めている。

気象庁風力階級表(ビューフォート風力階級表)
気象庁雲形種類表
気象庁雲の状態種類表
気象庁視程階級表
気象庁天気種類表
気象庁風浪階級表
気象庁うねり階級表
気象庁海氷状態表
気象庁船舶着氷状態表

このうち船舶の観測に関連する要素については、それぞれの観測の章で述べる(規定関係の詳細は「第13章　関係法令等」を参照のこと)。

１.４　観測に際しての留意事項

１.４.１　観測上の注意

船舶において気象観測を行う際、欠測がないようにするのはもちろんであるが、船体の動揺・振動、排気、排水、波、しぶき等の影響を受けないように細心の注意を払い、常に周囲の状態に注意して誤観測のないようにすることが必要である。

測器の示度・周囲の気象・波浪の状態に注意を払うことは、観測をよりよいものとするために重要な意味がある。例えば、「気圧」が下がってきているとき、どのような変化が考えられるだろうか。まず、台風あるいは低気圧が近づいている場合、「風」が強くなってくるだろう。前線が近づいている場合には、「風向」も変化するだろう。また、「風浪」も高まってくるだろう。このような気象状況の変化に注意を払っていれば、計器を読み取るときにも読み誤りを減らすことができ、測器の故障にも早く気付くことができる。

観測した結果は、直ちに船舶気象観測表に記入しなければならないが、下記のような観測項目については、まず、観測値等を他の紙片に記入し、計算する必要がある。

気　圧　　観測は正時に行うこと。
　　読み取り値を海面の高さの気圧に更正することが必要。

露点温度　　気温、湿球温度、気圧から求めることが必要。

風向・風速　　航走中は、見かけの風と船の速さから真の風にするため、ベクトル計算が必要。

天　気　　天気については、観測前3時間あるいは6時間の変化の情報が必要であり、変化を常に記録しておくことが必要。

これらの項目について整理し、記入しやすい様式の用紙を準備するのが最も有効である。いずれの場合でも、記憶に頼って後で記入することは厳に慎まなければならない。

日本、オランダ、米国などで船舶気象報をパソコン上でコード化するソフトウェアを作成・配布しており、観測表の代わりに用いることもできる。日本で作成・配布しているソフトウェアは「OBSJMA」と呼んでいる。第1.1図に、OBSJMAで使用している観測値を記入する用紙（観測シート）を示す。

第 1.1 図　OBSJMA で使用されている観測ｼｰﾄ

１.４.２　　目視による観測

気象現象を解析する場合、測器により観測される気圧、気温や風の変化等はもちろん重要な検討要素であるが、それと合わせて、天気の変化、雲の状態、視程などの目視観測要素も、台風・低気圧の動きや規模を推定するうえで重要な気象要素となる。波浪については、測器による観測は現在はまだ一部の研究船や観測船だけであり、その数は非常に少なく、従って商船等の目視による観測は波浪の解析・予報のために欠かすことができないものとなっている。

１.４.３　　欠測・誤観測

気象観測においては、欠測したときの観測値は2度と得られないことを銘記しなければならない。また誤観測は予報あるいは研究に対して誤った結果を与えることになる。広大な大洋上においては、気象衛星の資料が得られる今日においても、船舶の資料は、台風や低気圧の規模、風の強さなど実際にその現象に直面しての観測値なので、予報・警報を検討するうえで最も貴重な資料である。これに誤りがある場合には、予報・警報に直接影響が及び、他の船舶あるいは地上において危険を生む可能性も出てくることとなる。

１.４.４　　観測結果の点検

観測終了後は、自分の行った観測そのもの及び計算、通報電文の作成などについて誤りがないかどうかを必ず点検する習慣をつけるようにしたい。共同で作業する人がいるような場合には、お互いに行った内容を点検するようにするとより効果的である。

１.５　観測・通報の回数と時刻

船舶における観測・通報は、全て協定世界時(UTC)を用いる。

気象業務法施行規則第4条及び第5条においては、船舶による観測及び成果の通報について次のように定めている。

(1)　観測

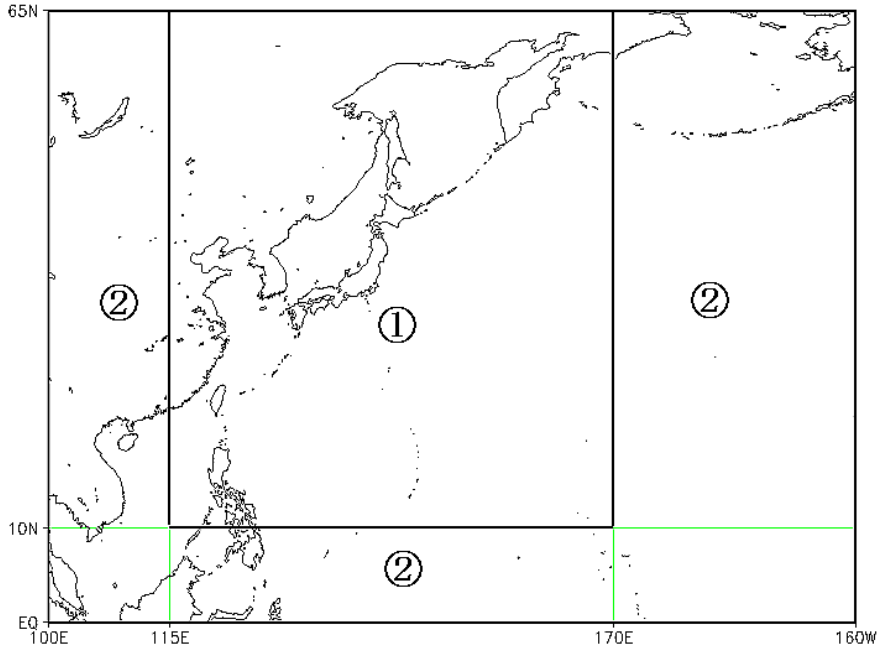
第1.2図の①及び②の海域について毎日00、03、06、09、12、15、18、21 UTCに観測を行う。

(2)　通報

第1.2図の①の海域においては、上記の観測時刻の観測成果を電報により通報する。

第1.2図の②の海域においては、00、06、12、18 UTCの観測成果を電報により通報する。

また、上記の海域外においても、WMO技術規則による国際観測通報船舶については、00、06、12、18 UTCの観測・通報が求められている。



第 1.2 図　気象業務法施行規則による観測海域（上記の海域外でも観測・通報の実施が望ましい）

１.６　観測の順序

気象現象は時々刻々に変化するものであるが、全ての気象要素を全く同時に観測することは実際上不可能であり、必要な観測を正時の前後なるべく短時間内に実施し、正時の観測とする。

観測を行う際に、目視による観測は続けて行い、測器を用いる観測と目視観測とを交互に行わないようにする。海上において夜間の暗さに目が慣れるにはかなり時間を要することから、夜間の観測においては特に大切な心得である。

観測の順序は、おおむね次のように行うのがよいが、船舶の実情に応じて自船に最も適する順序を定めて行って差し支えない。

(1)　海面水温(採水用バケツを使用する場合)

(2)　目視による観測

視程

雲量・雲の状態等

波浪(風浪・うねり)

風向・風力(目視により観測する場合)

(3)　測器による観測

風向・風速(測器により観測する場合)

気温・湿球温度(乾湿式湿度計を使用する場合)

気温・露点温度(露点式湿度計を使用する場合)

海面水温(電気式水温計を使用する場合)

気圧(必ず正時に観測する)

(4)　計算・コード化

(5)　船舶気象観測表への記入

(6)　船舶気象報の電文作成

(7)　作成した電文の点検・送信

天気現象などについては、1.4.1項に記したように随時観測することが必要である。

常に周囲の状況に注意を払うことは、誤観測、欠測を防ぐうえで大切なことであり、正時に観測をスムーズに行ううえでも有効である。なお、OBSJMAのような船舶気象報作成ソフトウェアを用いると、手順(4)から(6)をソフトウェア上で行うことができる。

１.７　観測結果の利用

船舶における気象観測値は、直ちに電報により「船舶気象報」として気象庁に報ずるとともに、航海終了後に「船舶気象観測表」の形で気象庁に送付することとなっている。これらのデータがどのように利活用されているか例を挙げながら述べる。

１.７.１　船舶気象報の利用

船舶気象報の形で気象庁に報告された観測値は、主として天気予報・警報やその他の気象情報の作成に即時利用される。海上予報・警報は、海上保安庁所属通信所より無線電話により放送されるとともに、GMDSS(海上における遭難及び安全の世界的な制度)の導入に伴い、インマルサット・セーフティネットと国際ナブテックス向けにも放送されている。また、観測資料は、解析図・予報図にも反映され、FAX図として放送されている。

天気予報の作業では、その目的に応じて各種の天気図が作成される。船舶からの観測資料は、海洋上のデータ空白域を埋める基本資料として地上天気図の作成に利用され、高・低気圧や前線系が解析される。また、電子計算機を用いた数値予報の手法が現在では最も重要な方法となっており、このためには、太平洋だけでなく、インド洋、大西洋など全世界の海洋における気象観測資料が欠くことができないものとなっている。

気象庁ではまた、北西太平洋海域の外洋波浪や沿岸波浪の実況図及び予報図を作成し、毎日FAX放送している。これらの情報の作成に際しては、特に同海域の海上気象の資料(風、気圧、気温、波浪等)が重要である。

観測資料は日本において利用されるだけでなく、国際通信回線を通じて世界各国の気象機関に送られ、気象や波浪の解析に利用される。また、世界の海で観測された資料は、このような回線を通じて逆に日本に送付され、気象庁において利用される。

近年においては、気象レーダーによる観測、飛行機や気象衛星による観測等が、天気予報に活用されている。しかし、これらの観測は、カバーする領域が限られていたり、得られる要素に制約があるなど万能ではない。気象衛星は、広範囲の気象状況を捉えることができるが、それは海上の各点の観測値による校正なしでは使えず、船舶からの観測値と一緒にして始めて大きな威力を発揮する性質のものである。船舶からの観測値は海上のデータ空白域の基本値として、また気象衛星等による遠隔測定値の海上での基準値として、今後も重要な役割を担うこととなる。

１.７.２　　船舶気象観測表の利用

船舶気象観測表として送付された海上気象観測資料は、磁気媒体に入力され、計算機による品質管理を行ったうえで保存される。各国で収集された船舶による海上気象観測資料は、世界の海上気象資料のデータベース作成を目的として国際交換されている。

近年の地球温暖化などの気候変動の把握・解明に際して、船舶による気象観測は、観測資料の少ない大洋上において、非常に貴重な資料である。船舶気象観測表の形で収集された観測資料は、国際交換された観測資料も含めて、各国において気候変動の監視、気候に関する数値予測モデルの開発・改良等に役立てられている。

第2章　気圧の観測

天気図などで一般に知られているとおり、気圧は大気の状態を表す最も基本的な要素である。気圧の分布あるいはその時間変化は、天気や風の変動を知るための重要な指標となっている。

2.1　定義・単位

気圧は、静止した大気の圧力として定義される。従って、海面上における気圧は、単位面積上の鉛直な空気柱の質量に、重力の加速度を乗じたものに等しい。

気圧を表す単位は、ヘクトパスカル(hPa)であり、観測及び通報にはこの単位を用いる。パスカル(Pa)は圧力の単位で、1パスカルは1平方メートル(m^2)の面積に1ニュートン(N)の力が一様に加わったときの圧力である。1Nとは1キログラム(kg)の質量を持つ物体に1メートル/秒^2(m/s^2)の加速度を与える力である。1hPaは100Paとなる。

これまで、気圧の単位として、ミリバール(mb)、水銀柱ミリメートル(mmHg)、水銀柱インチ(inchHg)などが使われてきている。1mbは1hPaであり同じ値である。1mmHgや1inchHgは、単位高さの水銀柱が1平方センチメートル(cm^2)の面積に及ぼす圧力である。参考までにこれらの単位間の関係を記しておく。

1 hPa = 100 Pa = 1 mb

1 mmHg = 1.33322 hPa

1 inchHg = 33.8639 hPa

mmHgからhPaへの換算表は、気象庁から別途配布されている「船舶気象観測表による報告および船舶気象報通報の手引」に掲載されている。

2.2　使用測器と設置条件

気圧の観測のため、船舶用アネロイド型気圧計又は船舶用電気式気圧計（静電容量式気圧計や振動式気圧計）の設置が必要である。定時の気圧の観測には、船舶用アネロイド型指示気圧計や船舶用電気式気圧計を使用し、気圧の変化傾向は自記気圧計の記録紙から読み取る。これら観測に使用する気圧計は、検定を受け、それに合格したものを使用しなければならない。

気圧計の設置にあたっては、その機能の如何にかかわらず、次のようなことに留意しなければならない。

(1)　直射日光を避け、温度変化の少ない所に設置する。

(2)　機関の振動や波浪の影響による衝撃を除去するため、側面及び下面にスポンジラバーなどのクッションを敷いて設置するのがよい。

(3)　船舶用アネロイド型指示気圧計は水平に設置するのが原則であるが、止むを得ず壁に垂直に取り付ける場合には、水平にした場合と、垂直にした場合とで、指示値の差が0.5hPa以内

のものでなければならない。また、取り付けに当たっては、水平に取り付ける場合と同様に、振動や衝撃が気圧計に伝わらないようにしなければならない。

2.3　アネロイド型指示気圧計

アネロイド型気圧計は、小型で、取り扱い及び測定が簡単で、重力加速度の影響を受けないなどの特徴がある。アネロイド型指示気圧計は、空ごう（金属製のうすい円板を2枚向かい合わせにし内部を真空にしたもので、ベローズとも呼ぶ）が、気圧の変化によって伸縮することを利用して伸縮量をてこや滑車で拡大して指示針に伝え、気圧を表示する構造になっている。この空ごうは、気圧の変化のみではなく、温度変化によっても僅かながら伸縮するので、それを補正するために、空ごうの上端にバイメタルを取り付け、それを介して、てこに動きを伝えている。

アネロイド型指示気圧計(第2.1図)には、一般用の他に船舶用のものがあるので、船ではこれを使う必要がある。船舶用の気圧計は、空ごうを2個、回転軸に対称の位置に取り付けて、振動の影響を相殺し、拡大機構の各点でも平衡をとり、示針の振れが小さくなるような構造にしてある。

気圧を読み取るときは、まず、示針が軽く振動するように、ガラス面を指先でノックする。次いで、片方の目を示針の真上（または真前）に持って行ってその目で目盛りを読む。気圧計のガラスを通して示針を見たとき、示針とガラス面に写った自分の目とが重なっていれば、目の位置は正しい。目盛板に鏡が付いている気圧計を使用すれば、目の位置を正確にとって値を読み取ることが可能となる。

波が高い場合には、船体が動揺して、その上下の加速度や位置の変動が気圧計に加わり、示針が左右に振れるようになる。この場合は、示度の最大の値と最小の値とを数回読み、それらの平均値を観測値とする。風の強いときには、波による影響の上に、風の息による影響が加わる。風による影響は、一般に屋内の気圧を低くする傾向にあると言われているが、その量は気圧計の設置してある部屋の構造や風速によって変わり、一般的な補正方法は今の所ないので、無視せざるを得ない。

気圧の観測は、定められた各観測時間の正時ちょうどに読み取り、hPaの1/10の値まで読む。

2.4　電気式気圧計

2.4.1　振動式気圧計

振動式気圧計には2種類の型があり、その1つは、水晶振動式気圧計で、これは空ごうの一端を固定し、その他端に水晶振動子を取り付け、気圧の変化によって空ごうに生ずる力を水晶振動子に伝え、それによって水晶振動子の振動数が変化することを利用したものである。他の1つは円筒振動式気圧計で、これは二重にした円筒の外側と内側の間を真空にし、内側の薄い円筒が気圧によって常時ふくらまされている状態にしてある。西洋打楽器のティンパニーが皮の張りを変えて音の高低を変えているのと同じように、気圧による内筒の張力が気圧の変化によって変わり、固有振動数が変わるのを利用して気圧を求めている。

いずれも瞬間値ではなく、短いながらもある時間の平均値をデジタル表示しているから、動揺する船舶の上でも精度のよい観測が期待できる。また両者とも、アナログ出力やデジタル出力を備えているので、その出力に見合ったレコーダやプリンタを組み合わせれば、気圧のアナログ記録やデジタル印字が得られる。デジタル表示の機器は、視差がない、すぐ近くに寄らなくても読み取れる、読み取りの際の個人的な癖が入り込まない、読み取りの誤りがほとんどない、など利点が多い。

この気圧計を設置するときの注意や、観測時刻、最小位数、波が高いときの処置等は、アネロイド型指示気圧計と同じである。

2.4.2　静電容量型気圧計

静電容量型気圧計の感部は、単結晶シリコン等の弾性体で構成され、その内部は真空となっている。この空間の容積が気圧によって変化することを利用して、真空部の上下にある電極間の静電容量の変化を測り、気圧の変化量を測定する。気圧の値は、デジタル表示される。電気式気圧計は故障等の異常を自動的に検出する機能を有しているものが多い。

2.5　器差補正

気圧計の指示値は、真の気圧の値とは多少異なっている(これを「器差」という)。真の気圧の値を求めるためには、この差を考慮しなければならない場合がある。定期的に気圧計の検定を受けており、検定証書に「良」と記載されている場合には、気圧計の読み取り値をそのまま「現地気圧」(2.6節の説明参照)として差し支えない。港湾気象官等による点検等により器差による補正値が明らかになっている場合には、気圧計の読み取り値に補正値を加えた値を「現地気圧」とする。

「補正値」がある場合には、「現地気圧」=「気圧計の読み取り値」＋「補正値」となる。

2.6　海面更正

天気図に記入される気圧は、海面上における値である。そこで、各地で観測された気圧は、設置されている気圧計の海抜高度から、平均海面上の値に換算される。これを海面更正といい、求められた気圧を「海面気圧」という。これに対して、海面更正を行わない気圧が「現地気圧」である。船舶気象報で報ずる気圧や、船舶気象観測表に記入する気圧は「現地気圧」ではなく「海面気圧」でなければならない。現地気圧は、いわば観測点より上に存在する空気の重さであり、高い観測点ほどその上に存在する空気が少なくなるため、気圧は低くなる。海面更正とは、観測点から海面までの空気の重さを「現地気圧」に加えることである。空気の密度は気圧や気温によって変わるため、海面更正値は、気圧計の海面上の高さのほか、気圧、気温によっても変わる。

海面更正値は、別途配布される「船舶気象観測表による報告および船舶気象報通報の手引」の「海面更正値表」に記載されている。空荷のとき、満載のときの気圧計の海面からの高さを調査して、その各々の高さに該当する部分を抜き書きして、気圧計の近くに貼っておくとよい。

喫水が±1メートル以内の変動しかない船は、その平均の喫水から気圧計の海面上の高さを求め、常時その高さで海面更正を行えばよい。例えば、現地気圧が997.4hPa、気圧計の海面上の高さが6m、外気温が13.2℃であれば、補正値は表より0.7hPaとなり、海面気圧は、

（現地気圧）＋（海面更正値）＝（海面気圧）

997.4　＋　0.7　＝　998.1 hPa

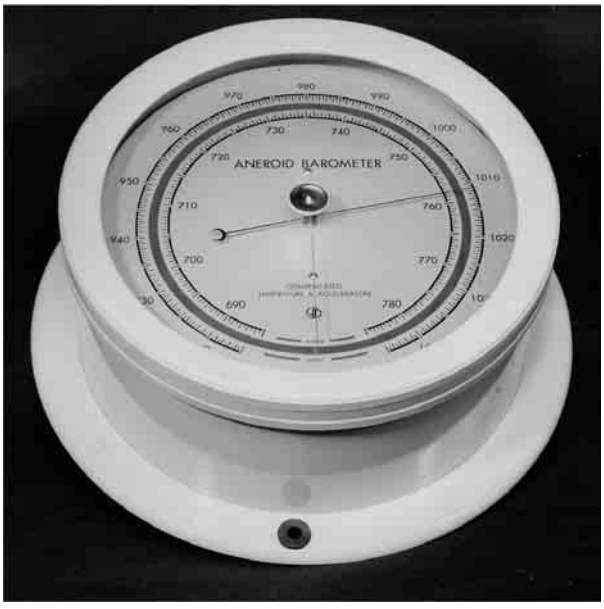
となる。

２.７　自記気圧計

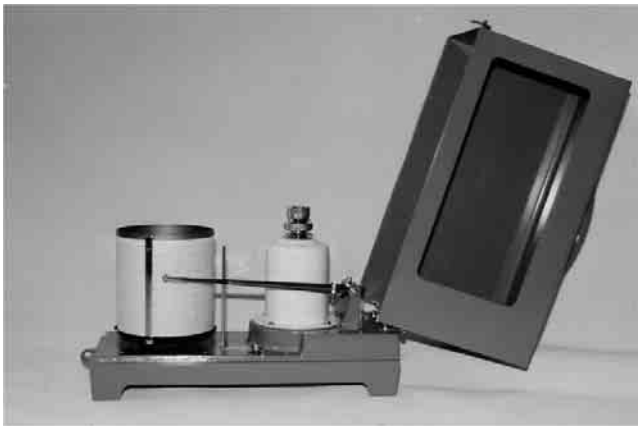
自記気圧計は、第2.2図に示すが、空ごうの一端の動きを拡大し、その動きを、時計を内蔵した円筒に巻き付けた自記紙上に、ペン書きするものである。自記気圧計には、1日用と7日用とがあり、気圧の変化傾向を判断しやすいという点では、1日用より7日用の方がよい。

自記気圧計は、観測値のチェックや、気圧の変化傾向と気圧変化量の決定に便利である。また、気象変化の傾向を見ることにより、低気圧や高気圧、気圧の峰や谷などが、近づくか、遠ざかるかのある程度の目安をつけることができ、天気が回復するか、悪化するかの傾向を推察することができるので、できるだけ設備するのが望ましい。

自記気圧計の設置場所や取り付け方などは、指示気圧計と同じである。



第2.1図　アネロイド型指示気圧計



第2.2図　自記気圧計

第３章　　気温と露点温度の観測

大気の熱収支には地域的な差異があり、そのため大気に温度分布が生ずる。その結果として大気には密度の空間分布が生じ、流れ(風)が起こり、雲や降水現象が発生する。したがって気温の観測結果は、総観的な気象解析を行う際の基本要素の一つとされる。

また大気中の水蒸気は、雲を生じて降水現象のもとになるほか、蒸発や凝結によって潜熱の形で熱の輸送に関与し、また赤外線を吸収または放射する作用で、大気の放射量の変動を支配している。このため水蒸気は、大気中に起きる現象及びその変化について重要な要素となっている。

３.１　　定義・単位

大気の温度を気温という。

大気中に含まれている水蒸気の分圧を水蒸気圧といい、気象では単に蒸気圧という。また水蒸気張力とも呼ばれる。ある温度のもとでは、大気中の蒸気圧の最大値は決まっており、それを飽和蒸気圧という。大気の接する面が水と氷とでは、同一気温でも飽和蒸気圧は異なる。

そのときの気温における飽和蒸気圧に対する蒸気圧の比率を相対湿度という。

圧力一定のもとで、現在の蒸気圧を飽和蒸気圧とするような温度を露点温度という。

気温・露点温度は摂氏度(℃)の単位で表し、その1／10の位までの値で示す。参考までに℃と華氏度(°F)、絶対温度(K)の関係を示す。

絶対温度（K）＝ 摂氏による温度（℃）＋ 273.15

華氏による温度（°F）＝ 1.8 × 摂氏による温度（℃）＋ 32

３.２　　使用測器と設置条件

気温及び露点温度の観測には、通風型乾湿計(第3.1図)、携帯用通風型乾湿計(アスマン型)(第3.2図)、振り回し式乾湿計(第3.3図)等を使用する。観測船などでは、専用の通風筒に納めた隔測温湿度計(第3.4図)を使用している場合も多い。

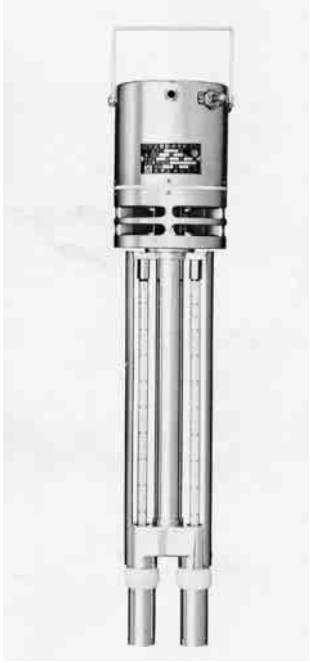
無通風型乾湿計は乾球や湿球のごく近くの温度を示すことが多く、必ずしも観測点付近の大気を代表した値とは言い難いので、この測器の使用は薦められない。

乾湿計は、通常、百葉箱(第3.5図)に納めて観測する。

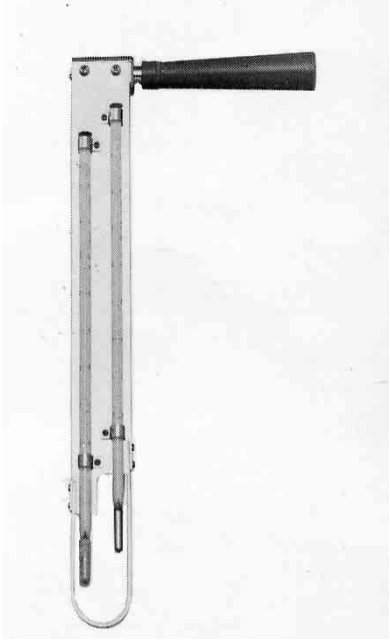
携帯用や振り回し式は、あまり海面に近くない所(できれば海面上3m以上)で、日陰の、降水やしぶき、煙、船内からの排気などをかぶらない場所を選んで観測する。携帯用は、小型の百葉箱で観測する場合もある。

百葉箱や通風筒を設置するときも煙や船内からの排気などを避けられる場所を選ぶ。

第3.1図　通風型乾湿計



第3.2図　携帯用通風型乾湿計
(アスマン型)



第3.3図　振り回し式乾湿計

第3.4図　通風筒に納められた隔測温湿度計

第3.5図　乾湿計を設置する百葉箱

3.3　乾湿計

3.3.1　ガラス製温度計

乾湿計にはガラス製温度計が使われる。

ガラス製温度計には棒状温度計と二重管温度計とがある。

通風型乾湿計や携帯用通風型乾湿計に使われているものは、二重管温度計である。これらの通風型乾湿計に使っていた温度計が破損した場合には、前と同じ規格の温度計を取り付けなければならない。規格の違う温度計を取り付けて球部の形や大きさが変わると、球部のまわりの通風速度が変わって、正しい測定ができなくなる。

二重管温度計は、細い毛細管とその後に目盛板を備え、全体を球部につながるガラス管に封入しているので、構造上破損しやすい。特に目盛板を受け止める部分(朝顔という)が破損しやすいので、温度計の取り扱いには細心の注意が必要である。

棒状温度計は、ガラス棒の中心に毛細管があり、棒の表面に目盛りを刻み、目盛りの背面を着色して読みやすくしてある。構造上、二重管温度計よりは頑丈なので、水温の測定などに使用される。

観測に使用する温度計は、検定に合格したものでなければならない。

ガラス製温度計には水銀温度計の他にアルコール温度計もあるが、アルコール温度計は器差の変動や経年変化が大きく、液切れしやすいなどの点で水銀温度計より劣るので、長期にわたって気象観測に使用するのは適当ではない。

3.3.2　湿球の手入れ

乾湿計では、2本の同一規格・寸法の温度計を使用する。一方はそのままで使い、これを乾球という。他の一方には球部に布を巻き、観測時にはその布を水で湿らせる。これを湿球という。

通風型乾湿計では向かって左側を、振り回し式では外側に突き出た方を湿球にする。

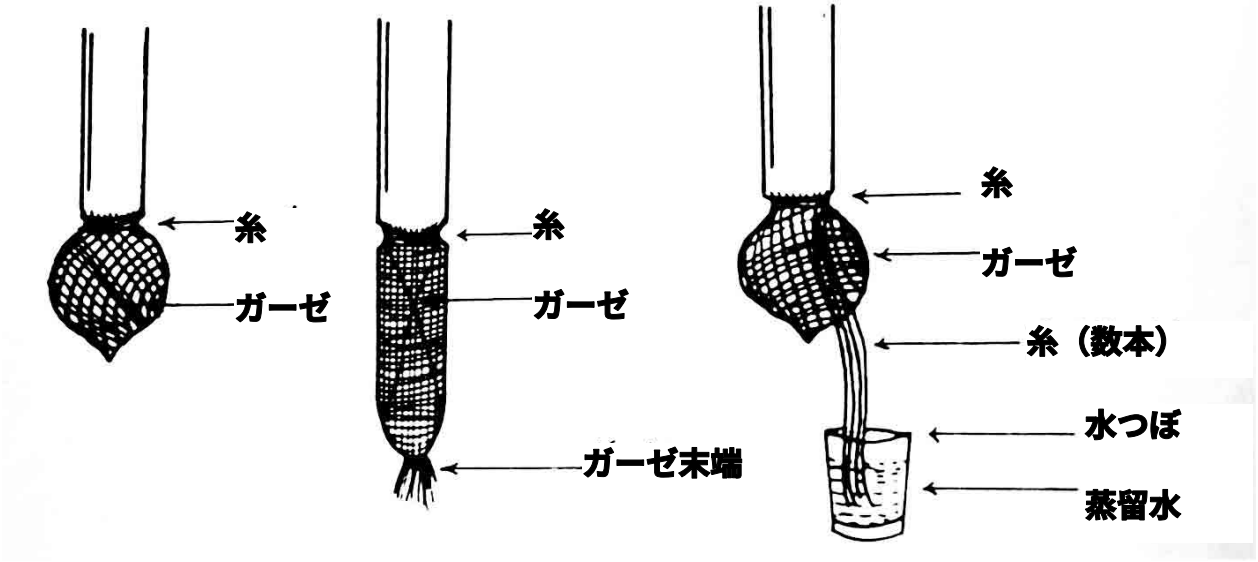
球部に巻く布はガーゼがよい。ガーゼをよく洗って、のりや油気を取り去って使用する。この布は、汚れがついたり、塩分を含んだりすると誤差が大きくなるので、毎月1回ぐらいは取り換えるのが望ましい。観測時には常に注意し、汚れていたら直ちに取り換える。

湿球として長く使われた温度計の球部には、ガラス面に水あかが付着していることがある。布を交換するとき、ガラス面を清浄な布で拭いて汚れを落とし、それでも落ちないものは、希塩酸に浸して汚れを溶かし、その後十分水洗をする。そのとき乾球も一緒に点検し、汚れが付いていれば落とす。

球部が細長い温度計にガーゼを巻くときは、ガーゼを、長さは球部よりやや長め、幅は球部を十分包める幅に切り取り、水でぬらして球部にはり付け、球部上部のくびれた部分に木綿糸で2～3回巻いて縛り付ける。次に、布の合わせ目以外には重なりがなくしわもないようにして、球部の先端のガーゼを引っ張りながら、球部の先端にできるだけ近い所を、糸で巻いて縛る。余分なガーゼは、上下とも切り落とす。糸からはみ出しているガーゼはできるだけ少ない方がよい。

球部が丸いものは、ガーゼを約3cm角に切り取り、球部上部のくびれた所で縛る。重なりやしわがないようにすること、余分なガーゼの切り落しなどは前と同様である。

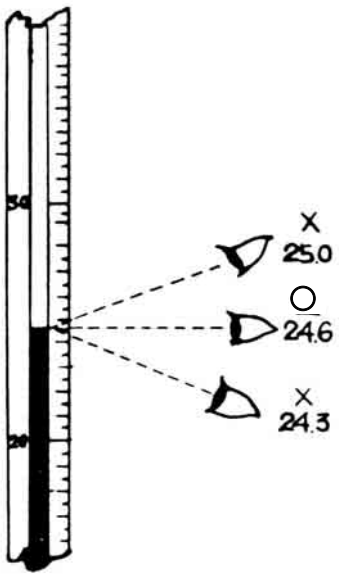
第3.6図に、ガーゼを巻き付けた状態を示す。



第3.6図　ガーゼを巻きつけた湿球の球部

3.3.3　　乾湿計による観測の方法

観測時の約10分前に、付属のスポイトを用いて蒸留水または清潔な軟水で湿球をぬらす。ぬらす水の量は、多過ぎて下に水が落ちるようではいけない。また、勢いよくスポイトを押して、通風筒や温度計の管部にまで水を飛び散らせるようなことをしてはいけない。ぬらす水の温度は、できるだけ気温に近い方がよい。湿球を覆う布から糸を数本垂らしその先に水つぼを備えた乾湿計もある（第3.6図の右端の図）。水つぼの水量は過不足のないよう注意を払う必要がある。



第3.7 図　棒状温度計の読み方

温度計の示度を読み取るときは、乾球、湿球の順に素早く読み取る。しかも、小数位を先に読み、1位、10位はその後で読む。これは、観測者の体温や息が温度計に影響を与えないうちに読み取るためである。温度を読み取るときは、目の位置による読み取り誤差(視差またはパララックスという)に注意しなければならない。

視差は、第3.7図に示すように、目盛りを読み取る目の位置が正しい位置より高いと温度を高く読み、低ければ低く読み取ることによって生ずる。棒状温度計は毛細管の肉厚が厚いので視差が大きくなりやすい。二重管温度計でも不注意な読み方をすれば視

差を生じるが、水銀柱の頭部に最も近い毛細管の後にある目盛線が直線に見えるよう(目の位置が悪ければ、目盛線が曲がって見える)にすればよいので、棒状温度計よりは正しく目の位置を定めやすい。

ガラス製温度計の最小目盛は、0.5℃と0.2℃とが一般である。気象観測には0.2℃目盛りのものがよく、通風型乾湿計に使われているものも一般に0.2℃目盛りである。0.2℃目盛りで観測すると、気温の10分位を奇数に読むことが多い人、偶数に読むことが多い人などがいる。このような個人的な偏りの癖を避けるために、常々自分の観測値を点検して、そのような癖を矯正するよう心掛ける必要がある。

気温が高く大気が乾燥しているときには、温度計を読み取るまでに湿球が乾いてしまうこともあるが、そのような場合は繰り返しぬらす。

気温が低く湿球が氷結するときは、いったんぬるま湯で前の観測時から残っている氷を解かし、清潔な筆で水を吸い取り、新しく水をつけて氷の薄い皮膜ができるようにする。

示度が安定するまでに必要な通風時間は、0℃以上の場合通常5分前後であるが、湿球が氷結するようなときは10～20分を要するときもある。湿球の水が凍るときは、最初は過冷却で0℃以下に下がり、次いで水が凍るために潜熱を放出して0℃付近まで上昇し、水が全部凍ってから再び下降するので、湿球が氷結しないときより長時間を要するためである。湿球の温度を読み取るとき、上記の0℃付近に上昇しているときの温度を読み取らないよう、注意する必要がある。

湿球温度が0℃よりやや低い程度のときには、湿球が氷結しているときと、過冷却のままで氷結していないときがある。氷結しているときとしていないときとでは、露点温度を求める際に使用する表が異なるので、示度を読み取った後注意深く観測する必要がある。氷結しているか否か目視で判断がつかないときは、針のようなとがったもので、ガーゼを軽く突いてみるとよい。確認後、観測値の右肩に、氷結していれば「I」、氷結していなければ「W」と記号を付けて区別しておく。

霧の中で観測したときには、湿球温度が乾球温度より高く出ることがある。その場合は、乾球の示度を湿球の示度と見なす。

百葉箱を使用している場合には、その扉を開いたとき、百葉箱の中に日射が直接差し込むようであってはいけない。そうならないよう扉を開く前に、適当な日よけをして防ぐ工夫が必要である。

(携帯用通風型乾湿計(アスマン型)の使用上の注意)

携帯用は観測に適当な位置につるして測定するが、船の動揺で落ちたり他の器物に当たったりして破損することがないようにしておく必要がある。また、船の針路や風向などで観測場所を変更する必要があるなら、あらかじめ何箇所か観測に適した所を選定しておいた方がよい。なお、電池を動力としているものは通風速度が遅くなると正確な値を得られなくなるので、常にファンの回転音に注意し、その音が低く小さくなり始めたら電池の電圧低下の兆候であるから、直ちに新しい電池と交換する。

(振り回し式乾湿計の使用上の注意)

振り回し式は、腕を風上に伸ばして温度計をできるだけ身体から離すようにし、毎秒4回ぐらいの割合で回転させる。また、湿球をぬらすとき、乾球までぬらしてしまわないよう注意しなければならない。

３.３.４　　乾湿計による気温・露点温度の計算

気温は、乾球の示度の読み取り値である。

露点温度は、乾球温度及び湿球温度から「露点温度を求める表」(別途気象庁配布)あるいは「飽和蒸気圧表」(本指針巻末付録)を用いて求める。

(1)　「露点温度を求める表」を用いる方法

この表は「乾球温度と湿球温度との差(t-t′)」と「湿球温度(t′)」から露点温度を求めるものである。0.5℃単位で書かれているので、下に述べるような方法で露点温度を求める。

(ア)　湿球が氷結しないとき

例1)乾球温度　t=20.8℃、湿球温度　t′=19.4℃の場合

t′ = 19.4 →二捨三入して19.5とする。

t-t′ = 1.4 →二捨三入して1.5とする。

「露点温度を求める表」の「湿球が氷結していないとき」の

縦の段、t′ = 19.5

横の列、t-t′ = 1.5

に対応する値、18.8℃が露点温度となる。

例2)乾球温度　t= 1.2℃、湿球温度　t′ = -2.7℃のとき

t′ = -2.7 →二捨三入して-2.5とする。

t-t′ = 3.9 →二捨三入して4.0とする。

「露点温度を求める表」の「湿球が氷結していないとき」の

縦の段、t′ = -2.5

横の列、t-t′ = 4.0

に対応する値、-12.1℃が露点温度となる。

(イ)　湿球が氷結したとき

t′ = -2.7 →二捨三入して-2.5とする。

t-t′ = 3.9 →二捨三入して4.0とする。

「露点温度を求める表」の「湿球が氷結しているとき」の、

縦の段、t′ = -2.5

横の列、t-t′ = 4.0

に対応する値、-11.1℃が露点温度となる。

(2)　飽和蒸気圧表(本指針巻末付録)によって求める方法

(1)で記述した「露点温度を求める表」は、この方法で、気圧の値を1013.25hPaと仮定して計算したものである。気圧の値を仮定しない場合の露点温度は次のように計算する。

(ア)　蒸気圧

通風型乾湿計の乾球示度の値をt℃、湿球示度の値をt′℃、気圧(現地気圧)の観測値をPhPa、湿球温度における飽和蒸気圧をE′hPaとすれば、蒸気圧e hPaは次のスプルングの式

から算出される。

$$e = E' - \frac{A}{755} P (t - t')$$

ただし、湿球が氷結したときは、E′は氷の飽和蒸気圧とする。また、Aは定数で、湿球が氷結しない場合は0.50、氷結した場合は0.44である。

上式の計算は、まず第1項のE′を巻末の飽和蒸気圧表からt′に対応する値として求め、第2項は観測値から求め、両項の差をeとする。定数Aは氷結した場合と氷結しない場合では、値が異なるので注意を要する。

このようにして計算した蒸気圧が、負の値となった場合は0.0 hPaとする。

計算機を用いて飽和蒸気圧を計算する場合は、データを倍精度浮動小数点型として値を計算し、最後に1/1000の位を四捨五入して1/100の位で出力するとよい。

（イ）　露点温度

露点温度は、巻末付録の飽和蒸気圧表から上の式で計算した蒸気圧 e に対応する温度を求める。蒸気圧が低い場合は、蒸気圧の1/100の位までの値で内挿して求める。蒸気圧が0.05 hPa以下の場合の露点温度は＜－50.0℃とする。

（ウ）　飽和蒸気圧表による計算例

乾球温度　　t = 19.8 ℃

湿球温度　　t′ = 17.3 ℃

現地気圧　　P = 985.2 hPa

飽和蒸気圧表から、t′ = 17.3℃に対応するE′は

E′ = 19.74 hPa

(t－t′)= 2.5℃、P = 985.2 hPaに対応する第2項の値は、

$$\frac{A}{755} P (t - t') = 1.63 \quad \text{hPa}$$

となり、したがって蒸気圧は

$$e = 19.74 - 1.63 = 18.11 \text{ hPa}$$

となる。巻末付録の表から、18.11hPaの近傍の飽和蒸気圧は

気温15.9℃のとき、18.06hPa

気温16.0℃のとき、18.17hPa

なので、飽和蒸気圧18.11hPaに対応する温度すなわち露点温度（t_d）は、

18.11 － 18.06 = 0.5

18.17 － 18.11 = 0.6

から、15.9と16.0を5:6に内分して、

td = 15.945　≒ 15.9 ℃

となる。

３.４　隔測温湿度計

隔測温湿度計は、電気式温度計と露点式湿度計または電気式湿度計で構成されている。

３.４.１　電気式温度計(白金測温抵抗体)

(1)　感部の測定原理

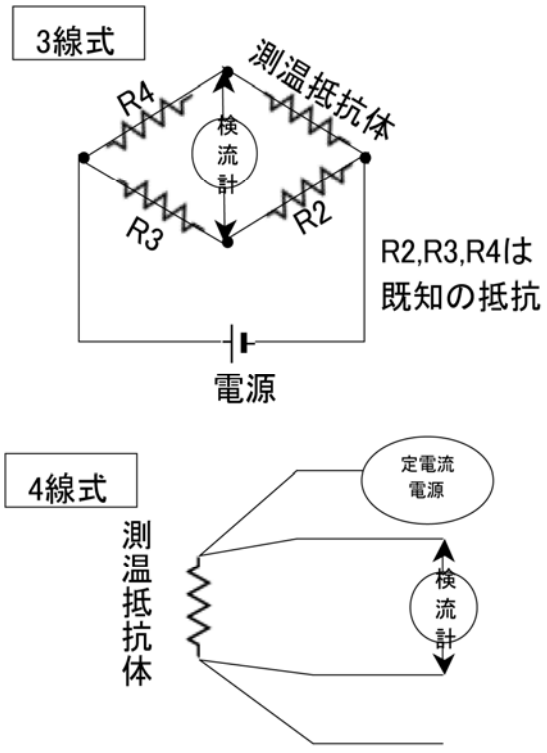
電気式温度計の感部は、白金線を使用した測温抵抗体である。この測温抵抗体は、白金線の電気抵抗値が温度によって変わる性質を利用したものである。温度が変われば抵抗値も変わるのは金属一般の性質であるが、白金は、純度が高ければ、温度と抵抗値との関係が一定かつ安定しており、その上柔軟で加工しやすく、しかもさびないのでさびのために線が細くなって抵抗値が変わるようなことがない、などの特質から測温抵抗体の素線に使われている。

測温抵抗体は、日本工業規格で、その0℃のときの抵抗値は100Ωと定められ、各温度における抵抗値も定められている。また、導線の数が、2本、3本、4本のものがあり、2本のものを2線式、3本のものを3線式、4本のものを4線式と呼んでいる。

導線が2本のものは、導線の温度による抵抗値の変化がそのまま誤差として加わるので、感部と変換器との距離がごく短く、導線の温度影響が無視できるとみなせる場合以外は好ましくない。

3線式の測温抵抗体の場合は、定電圧の発生器とホイートストン・ブリッジの3辺に抵抗を組み込み、測温抵抗体をそのブリッジの一辺に結線して一定の電圧を加え発生する不平衡電圧を測定して温度に換算する。2線式に比べ導線の抵抗値による誤差が軽減されるが、導線1本当たりの抵抗値が1Ωを超えると気温の測定値に0.1℃を超す誤差が生じるので、1本ごとの抵抗値を1Ω以内にしなければならない（第3.8図参照）。

4線式の測温抵抗体を使用する場合には、2本の導線で一定の電流を常に流しておき、残り2本の導線で、白金線の両端の電圧を測定し、抵抗値を求め、温度に変換する。4線式のものは導線の抵抗値による誤差をほぼ除去することができる。



第3.8図　3線式、4線式の回路模式図

なお、測温抵抗体で温度を測定する場合、白金の抵抗値と温度との関係は、厳密に言えば直線的な関係にはないので、測定した抵抗値を温度に換算する際に、その補正を行っているものでなければ、気象観測に使用できない。

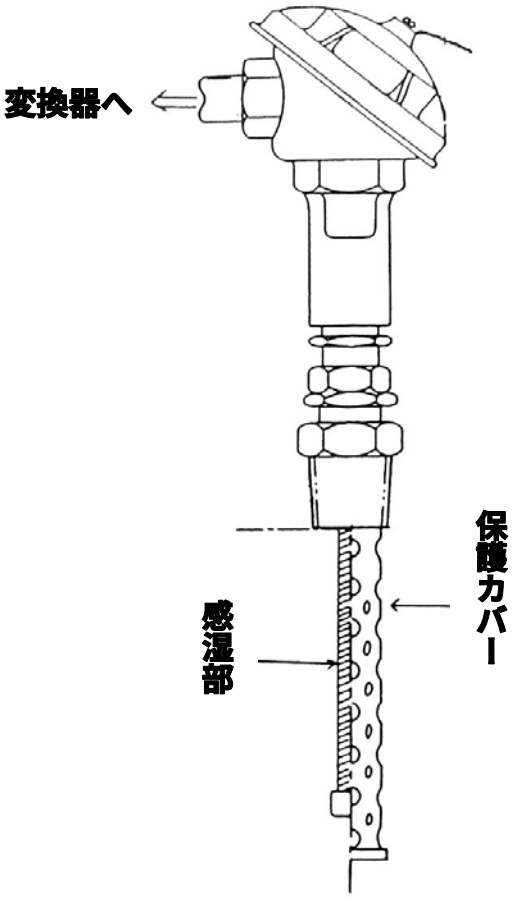
(2)　点検

測温抵抗体の抵抗値の温度による変化量は、1℃当たり約0.4Ωと非常に小さいので、ターミナル、コネクタ等の接触抵抗、線間の絶縁抵抗には、常に十分注意する必要がある。

そのため、電気式温度計の点検を行うときは、指示器や記録器の検査も行う必要がある。点検時、導線の先端に測温抵抗体の代わりに試験抵抗器を接続し、指示器や記録器が何度を示すか点検する。試験抵抗器が示すはずの温度から0.5℃以上異なった温度を示していたら、導線や各端子の接触抵抗、絶縁抵抗を点検し、不良箇所をなくす必要がある。

(3)　通風筒

電気式温度計で気温を観測する場合、風通しのよい場所に据え付けられていて、内部の換気が十分行われているような百葉箱の中に感部を取り付けてもよいが、一般には通風筒を使い、その中に感部を取り付ける。この通風筒は、太陽の直射や地表(甲板)面からの反射の影響を防ぐ構造を備え、合わせて気温の変化によく追随するよう、感部の回りを6～8m/sの速度で通風している。この通風が止まると、日中太陽の直射がある場合、内部が昇温して気温より高くなるので、常に通風モータの回転音に注意し、異常が感じられたら直ちにその通風モータを交換する。陸上では5年ぐらいもつモータでも、船舶上では2～3年で交換することが望ましい。



第3.9図　露点式湿度計の感部の外観

なお、通風筒の取り付け場所は、気温に船の影響が及ばない自由大気を吸入するような所でなければならない。また、長い間通風筒の手入れをせずに放置すると、測温抵抗体の周囲に塵埃や塩分が付着し、それに水分が吸収されると、乾湿式温度計の湿球と同じ原理により、正確な気温の測定はできなくなるので、常に点検し、通風筒の内部や測温抵抗体を清浄にしておかなければならない。

3.4.2　露点式湿度計

(1)　感部の測定原理

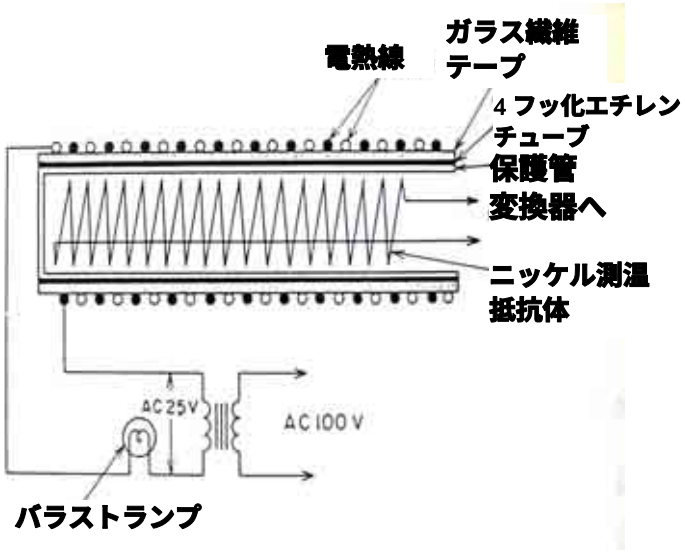
露点式湿度計の感部は、塩化リチウム露点計、またはデューセルと呼ばれている。塩化リチウムには潮解性があり、その飽和水溶液の蒸気圧が、水溶液の温度によって変わる性質を利用したものである。この塩化リチウムを使った露点式湿度計は、相対湿度が低い場合(約10％以下)には動作しない。

第3.9図に露点式湿度計の感部の外観を、第3.10図にその構造を示す。図に示すとおり、ステンレス製の保護管にはニッケルの測温抵抗体が組み込まれ、保護管に電気絶縁処理をした後、

ガラス繊維のテープを巻き付け、その上に細い金線、または金メッキした銀線を2本、平行にらせん状に巻き付けて電熱線としている。この2本の電熱線にこのまま電圧をかけても電流は流れないが、ガラステープに塩化リチウムの水溶液を塗布すると、塩化リチウムの水溶液に導電性があるので、電熱線間に電流が流れジュール熱が発生する。この熱で水溶液の温度が上昇し、水分が蒸発して水溶液の濃度が濃くなり、ついには塩化リチウムの結晶が析出してくる。結晶が析出すると電気抵抗が大きくなって電流は小さくなり、温度が下がってくる。温度が下がって水溶液の蒸気圧が、大気の蒸気圧より小さくなると、大気中の水の分子が水溶液に吸収され、再び電流が流れ、遂には飽和水溶液の蒸気圧と大気の蒸気圧とが平衡した状態になる。

このときの飽和水溶液の温度は、大気の露点温度と密接な関係にあるので、この温度を測定して露点温度に換算する。ただし、飽和水溶液そのものの温度は直接測れないので、実際には第3.10図に示すとおり、内部に組み込んだニッケル測温抵抗体の抵抗値を測定し、保護管内の温度を測っている。

抵抗値の測定は、気温と同じように、導線抵抗を各線とも1Ωにして、ホイートストン・ブリッジの不平衡電圧から求める方法と、測温抵抗体に一定の電流を流して、抵抗体の両端の電圧から求める方法とがある。



第 3.10 図　露点式湿度計の感部の構造

(2)　通風筒

露点式湿度計は、雨や雪、太陽の直射を避けるため、通風筒の中に取り付けられており、感湿部は保護カバーで覆われている。

前項で記したように、この感部は発熱体であるから、電気式温度計と一緒に百葉箱に取り付けると、その中を外気温より高い温度にしてしまうので、温度計との同居は避けなければいけない。

感湿部の周囲には常に新しい空気が供給されている必要があるため、通風筒は強制通風のものがよく、感湿部周囲の風速は15cm/s程度が適当である。

強風の中では感湿部周囲の空気が乱され、その影響で指示や記録が乱れる場合が多い。そのようなときは、平均的な値を読み取ればよい。

(3)　塩化リチウムの塗り替え

この露点式湿度計で露点温度を観測する場合には、気象業務法施行規則第1条の3に従って、随時、乾湿式湿度計と比較点検しなければならない。

感湿部に塗り付けられた塩化リチウムは、空気中に含まれる微量のガスによって、時間と共に変質していく。その変質が、ある程度を超すと露点温度に誤差を生ずるが、その程度を確かめるには、乾湿式湿度計と比較観測を行う必要がある。

比較観測に使用する乾湿式湿度計は、携帯用通風型乾湿計がよい。これを、夜間の風が弱いときを選んで、露点式湿度計の近くにつるして観測し、両者から求めた露点温度を比較して、その差が1℃以上であったなら、その露点式湿度計で観測してはいけない。そうならないうちに、塩化リチウムを塗り替える必要がある。

船舶においては、露点式湿度計感部の塩化リチウムは1カ月程度を目安に塗り替えるのが望ましい。

塗り替えの作業は、機器に添えられている取扱説明書に従って実施するが、特に注意を要するのが洗浄である。洗浄が不十分で、古い液が完全に洗い流されていない状態で新しい液を塗ってしまうと、当座は良好に見えても、すぐに誤差が大きくなってしまうので、入念に洗浄するのが肝要である。

洗浄の際には柔らかい筆や刷毛を使い、流水で洗った後、1日以上水(できれば蒸留水)に浸しておくとよい。この場合、先端から感湿部までの部分以外には水を付けないよう、また電熱線に手を触れたり傷を付けたりしないよう注意する必要がある。

3.4.3　電気式湿度計(静電容量型)

この湿度計の感部は、高分子フィルムを絶縁体としたコンデンサ構造をしており、この高分子フィルムは周囲の水蒸気量により水分子を吸収したり放出したりする性質がある。この吸湿性を利用し、相対湿度の変化による静電容量の変化を電気信号に変換する。

通常、気温を測る温度計と同じ通風筒に収め、感部付近を約4m/sで通風する。

感部は、大気の汚れの影響を受けやすいので保護フィルターを付ける必要があり、このフィルターを、気象庁の陸上官署では、通常6ヶ月で交換している。船舶では、使用環境を考慮すると、これより短期間で交換することが望ましいが、交換が困難な場合は、頻繁に点検・清掃を実施するとよい。

電気式湿度計で露点温度を観測する場合には、露点式湿度計と同様に気象業務法施行規則第1条の3に従って、随時、乾湿式湿度計と比較点検しなければならない。

第4章　風の観測

風は、気圧配置と密接に関連し、高気圧・低気圧の分布、その強さなどを知るうえで指標となる、重要な気象要素である。風速は気圧傾度に比例し、風向は中緯度の海上において、一般に等圧線と約15度の傾きを持っている。

海上における風の観測値は、通報資料が気象の解析や予報・警報に役立っているほか、その統計資料は、船舶、航空機の運行など多方面で利用されている。近年は、衛星による風の観測が行われているが、船舶やブイによる現場での観測が不可欠であることは変わらない。

4.1　定義・単位

風は風向と風速によってベクトルで表される。また、観測時前10分間の平均値で表す。ただし、観測時前10分間内に風向の不連続な変化があったときは、その変化後、観測時までの風向をとる。

風速を観測する際の単位はメートル/秒(m/s)を用い、その10分位までの値で示すが、通報にはノット(kt)の1位までの値で表す。

1 m/s = 1.9438 kt

1 kt = 1 海里(nautical mile)/時(hour)

= 1.852 キロメートル/時

= 0.5144 m/s

風向とは、風の吹いて来る方向をいい、船舶による観測では36方位(時計回りに角度の100位と10位をとり、北を36とする。)で表す。ただし、風速が0.2m/s(0.4kt)以下の場合の風向は、静穏(calm)とする。

瞬間風速は、変動する風速の瞬間値である。

4.2　使用測器と設置条件

風向・風速の観測には、風車型風向風速計が一般に用いられている。

風車型風向風速計は、第4.1図に示すが、4枚羽根のプロペラの風による回転の速さと、胴体が風向に追随する動きとを電気的に指示器(第4.2図、第4.3図)や自記器に伝えて、風向・風速を指示し記録する。また、分電箱を使用して、ブリッジその他必要な場所に出力を分岐し、風向・風速を指示させることができる。

風車型風向風速計の出力は、風向風速の瞬間値であるから、風の息によって、針やペンは常に振れている。

この他に、プロペラの回転数を風程信号として取り出す機構を備えているもの、風向信号の演算機能を備えているものもあって、これらは、平均風速・平均風向の観測に便利である。

風車型風向風速計を取り付ける場所は、船の構造物が風に及ぼす影響をできるだけ避けられる場所の中から、故障修理の際の便も考慮して選ぶ。

取り付けに際しては、風車の先端を船首に向けたとき、指示部の指針が0°（360°）を示すようにしなければならない。風向風速計の台座にNと記されているものは、それを船首に向ける。初めは仮止めして置き、風車の先端を、正しく船首、右舷90°、船尾、左舷90°に合わせたとき指示部の指針が、それぞれ0°（360°）、90°、180°、270°を示しているかどうかを調べ、いずれも±5°以内に納まっているのを確かめてから、改めて取り付けネジを締め付ける。±5°以内に納まらない測器は、修理するか、別の良品と交換する必要がある。

ケーブルのコネクタや引き込み口などには、雨や海水のしぶきが浸み込まないよう、グリースやパテ等を詰めておくとよい。

なお、観測に使用する風向風速計は、検定に合格したものでなければならない。検定の有効期間は5年であるから、1度検定を受けたものでも、有効期間が過ぎないうちに、ドック入り等の際に、取り外して分解修理を行い、再度検定を受けなければならない。

風は、WMOの技術規則で海面から10mの高さの10分平均値を観測することとなっているが、船体構造によってはその高さに風速計を設置することは難しい場合もある。そのような場合にもデータを補正して正しく気象情報の作成等に利用することができるよう、気象業務法施行規則第50条により風速計の高さを報告することが重要である。

第 4.1 図　風車型風向風速計

第 4.2 図　風向指示器

第 4.3 図　風速指示器

４.３　　風向の観測

自記器を備えている場合には、自記紙上で、観測時の10分前から、観測時までの変動の大勢を見て判定する。自記紙上の最も密に記録された部分の中央が、平均風向を示すものと見てよい。自記器を備えていない場合には、約1分間の指針の振れを見て、その平均的な値を読み取る。風向の変化が激しいときには読み取りが困難であるが、習熟することによって、正しく読み取れるよう努める。風向には、船の動揺による影響も加わっているが、これを取り除くには、平均的な数値を読み取る以外に方法はない。

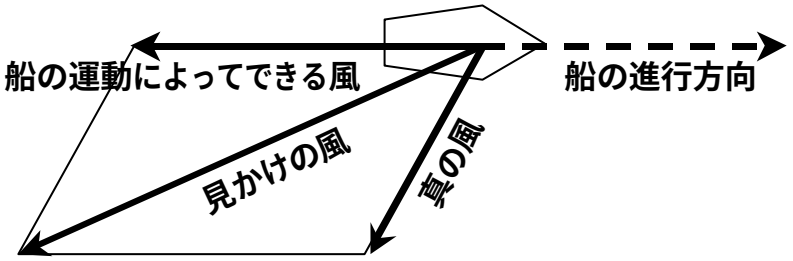
４.４　風速の観測

自記器を備えている場合には、観測時の10分前から観測時までの記録を見て、風速変動の中央付近を読み取る。自記器を備えていない場合は、約1分間、指針の振れを見て、最大、最小を捨て、振れのほぼ一定したところを読み取る。風の息が大きく、風速の変化が激しいときについては、風向と同じく習熟により正しく読み取れるよう努める。風向と同様、風速には、船の動揺による影響も加わっているが、これを取り除くには、平均的な数値を読み取る以外に方法はない。

４.５　真風向・風速の算出

航行中の船上で得られた風の観測値は、見かけの風向・風速(又は、視風向・視風速ともいう)であって、真の風向・風速ではない。

見かけの風向・風速は、第4.4図に示すように、真の風向・風速と、船の進路、船速とが合成されたものであり、



第 4.4 図　船の運動のベクトルと風のベクトルの合成

ベクトルで扱えば、

$$\overrightarrow{\text{視風}} = \overrightarrow{\text{真風}} - \overrightarrow{\text{船の運動}}$$

となる。従って、真の風向・風速を求めるには、見かけの風向・風速に、船の進路・船速をベクトル的に加算しなければならない。この場合、風向は風が吹いて来る方向であり、船の進路は船が進む方向であることに留意しなければならない。

$\vec{a}$を真風のベクトル、$\vec{b}$を船の運動のベクトル、$\vec{c}$を見かけの風(視風)のベクトル、それぞれのベクトルの大きさを$|\vec{a}| = a$、$|\vec{b}| = b$、$|\vec{c}| = c$、αを視風の船首からの方位、βを船の針路、γを真の風の船首からの方位とすると、

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \times \cos\alpha \qquad (1)$$

$$\sin\gamma = c \times \frac{\sin\alpha}{a} \qquad (2)$$

の関係式が成り立つ。(1)、(2)により真風速 a が求まり、$\gamma + \beta$が真風向となる。

今、針路 95° 船速 10 ノットで航行中の船上で左舷 50° 、27 ノットの風を観測したとする（第 4.5 図)。この例の真風向・風速を上の関係式から求めると、α=310° (左舷 50° は時計周りで 310°)であるから、

$$\cos\alpha = 0.64 \qquad (3)$$

この値とb=10、c=27をそれぞれ(1)式に代入すると

$$a = 21.95 \qquad (4)$$

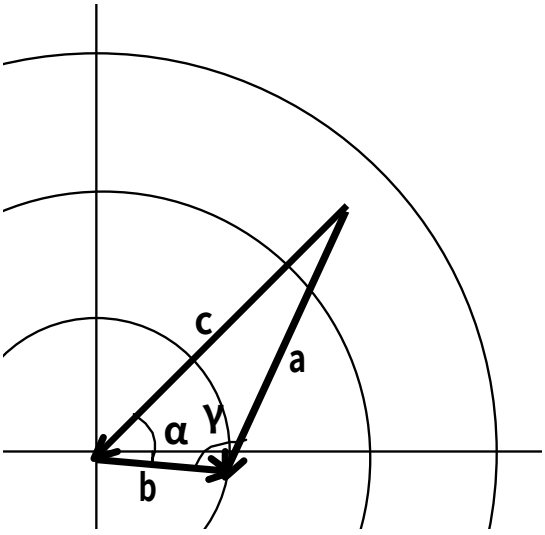
となる。(4)とsinα=-0.77、c=27を(2)に代入すると

$$\gamma = -70.4$$

となる。船の針路βは95° であったから、真の風のベクトルの方位は、

$$-70.4+95 = 24.6$$

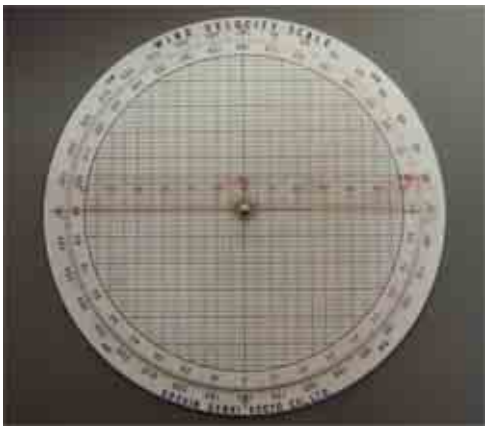
となり、真風速22ノット、真風向25° を得る。



第 4.5 図　計算例の真風（ $\vec{a}$)、船の運動($\vec{b}$)、見かけの風($\vec{c}$)をベクトル表示したもの

真風向・風速を求めるのに計算尺を用いる方法もある。第4.5図に真風向風速計算尺を示す。

計算尺の一番下の円盤を方位盤、中の円盤を風向盤、一番上の物差し状の尺を風速尺という。真風の計算には、まず風向盤の0を方位盤の船首方向(上の例では95°)に合わせ、次に風速尺を回して視風向(例では左に50°)に合わせる。風速尺上の視風速(例では27ノット)の点から縦線に平行に、下方へ船速相当目盛り分(例では10ノット)おろした点をC点とする。風速尺をC点まで回すと、風速尺のC点での目盛りは真風速を示し、風速尺と風向盤との交点は真風の船首からの方位を示し、方位盤との交点が真風の風向となる。



第 4.6 図　真風向風速計算尺

なお、真風向・風速を計算で求めた場合には、「4.7節　目視による観測」で記してあるように、風浪が進んでくる方向は、ほぼ真の風向と一致しているので、風浪の進行方向を確かめ、求めた真風向と比較すれば、計算の誤りを発見することができる。

４.６　真風向風速計

真風向風速計は、前述の風車型風向風速計から見かけの風向・風速を、船に備え付けてあるジャイロコンパスやログから針路や船速を入力して、両者をベクトル演算し、真風向・風速を直接、指示、記録するものである。

４.７　目視による観測

風向風速計が故障して使用できない場合、また、風向風速計を備えていない場合に風の観測をするときは、風向は次に記載するような方法によって求め、風速は、同じくその後に記載する風力階級から求める。

４.７.１　風向

航行中の船上で受ける風は、「見かけの風」であるが、風浪の進んでくる方向はほぼ真の風向と一致するので、目視による風の観測の場合は風浪の方向から風向を求める。この場合、ジャイロコンパスの器差を修正した真方位を10°単位で観測する。観測者はできるだけ周囲の海面の状況が見渡せる場所にあるジャイロコンパスの近くで観測するのがよい。そして、波頭やしぶき、及び白い泡筋等の方向から風向を求めると比較的よい結果が得られる。

海面状態から風向を観測するには、次の各項に留意する必要がある。

(1)　船の近くの風浪は、自船の影響で波の方向が乱されるので、船からある程度離れた風浪に着目する。

(2)　風向が急変した場合、以前からの波がしばらく残っていて、その波向は真の風向と異なるから、波頭を注意して観測する必要がある。

(3)　風が弱く、例えばチリメン状の波ができているときは、風向を見定めるのが難しく、風向を反対に採ったり、90°違って採ったりすることがあるため、船上で感じる風の方向や針路、船速等を参考にして決める。

(4)　陸岸や海氷の近くの風浪の方向は、その海面の正しい風向を示すとは限らない。

(5)　夜間及び視程の悪いとき(豪雨、雪、霧等の中)は、風浪の観測が難しいから、テープや煙等によって推測する。

(6)　普通、船上の風上側で観測するのがよいが、太陽の位置や海面の反射等のため見にくいときは、風下側でもやむを得ない。

４.７.２　風力

海面状態から風力を求めるには、第4.1表に示す気象庁風力階級表に従い、本章末尾の風力階級の写真を参照して、該当する風力に当てはめる。第4.1表の風力階級の相当風速は、海面上10mの高さの風速である。この表により風力を推定する際には、次の各項に留意しなければならない。

(1)　風が強くなっても、海面状態(波長・波高)が変わるまでに時間の遅れがある。逆に風が弱くなった場合も同様である。

(2)　風の強さが同じでも、風の吹送距離によって波の大きさが異なる。風上側に陸地がある海上の波と、外洋の波とで、波の大きさが異なるのはこの理由が多い。

(3)　潮流や海流の強いところでは、風力と海面状態が同調しないことが多い。特に、潮境には特殊な波が目立つ。

(4)　海の深さが波の出来方に影響する。

(5)　うねりの影響が大きくなると、風浪を判別するのが困難になる。

(6)　夜間は風力を推定するのは多少困難であるが、風力4～5ぐらいから白波が見え出すことが多いので、風浪から推定する風力は多少大きく見積もる必要がある。

(7)　降水は海面状態を滑らかにする傾向があり、特に強い降水ほど、その作用が大きい。従って激しい降水の中での風力の推定は、多少大きく見積もる必要がある。

(8)　風浪の高さは気温と水温の差によって異なるので、気温が水温よりも低い場合は、風浪から推定される風力よりやや弱い風力を採用するとよい。

第4.1表　気象庁風力階級表(ビューフォート風力階級表)

風力階級	相当風速		海面の状態	※参考波高
	ノット	メートル毎秒		メートル
0	1 未満	0.0 から 0.3 未満	鏡のような海面	－
1	1 以上 4 未満	0.3 以上 1.6 未満	うろこのようなさざなみができるが、波がしらにあわはない。	0.1(0.1)
2	4 以上 7 未満	1.6 以上 3.4 未満	小波の小さいもので、まだ短いがはっきりしてくる。波がしらはなめらかに見え、砕けていない。	0.2(0.3)
3	7 以上 11 未満	3.4 以上 5.5 未満	小波の大きいもの。波がしらが砕けはじめる。あわはガラスのように見える。ところどころ白波が現われることがある。	0.6(1)
4	11 以上 17 未満	5.5 以上 8.0 未満	波の小さいもので、長くなる。白波がかなり多くなる。	1 (1.5)
5	17 以上 22 未満	8.0 以上 l0.8 未満	波の中ぐらいのもので、いっそうはっきりして長くなる。白波がたくさん現われる。(しぶきを生ずることもある。)	2 (2.5)
6	22 以上 28 未満	10.8 以上 13.9 未満	波の大きいものができはじめる。いたるところで白くあわだった波がしらの範囲がいっそう広くなる。(しぶきを生ずることが多い。)	3 (4)
7	28 以上 34 未満	13.9 以上 17.2 未満	波はますます大きくなり、波がしらが砕けてできた白いあわは、すじをひいて風下に吹き流されはじめる。	4 (5.5)
8	34 以上 41 未満	17.2 以上 20.8 未満	大波のやや小さいもので長さが長くなる。波がしらの端は砕けて水けむりとなりはじめる。あわは明りょうなすじをひいて風下に吹き流される。	5.5(7.5)
9	41 以上 48 未満	20.8 以上 24.5 未満	大波。あわは濃いすじをひいて風下に吹き流される。波がしらはのめり、くずれ落ち、逆巻きはじめる。しぶきのため視程がそこなわれることもある。	7 (10)
10	48 以上 56 未満	24.5 以上 28.5 未満	波がしらが長くのしかかるような非常に高い大波。大きなかたまりとなったあわは濃い白色のすじをひいて風下に吹き流される。海面は全体として白く見える。波のくずれかたは、はげしく衝撃的になる。視程はそこなわれる。	9 (12.5)
11	56 以上 64 未満	28.5 以上 32.7 未満	山のように高い大波(中小船舶は、一時波の陰にみえなくなることもある。)海面は、風下に吹き流された長い白色のあわのかたまりで完全におおわれる。いたるところで波がしらの端が吹きとばされて水けむりとなる。視程はそこなわれる。	11.5(16)
12	64 以上	32.7 以上	大気は泡としぶきが充満する。海面は、吹きとぶしぶきのために完全に白くなる。視程は、著しくそこなわれる。	14(－)

備考　※印の欄は、陸岸から遠く離れた外洋において生ずる波の高さのおおよその目安を与えるだけのものである。波高のみを観測し、逆に風力を推定するのに用いてはならない。内海あるいは陸岸近くで、沖に向う風の場合には波高はこの表に示された数値より小さくなり、波はとがってくる。括弧内は、おおよその最大の波高を示す。

風力階級0
風速1ット未満
参考波高　－

風力階級1
風速1-3ノット
参考波高　0.1メートル
（最大0.1メートル）

風力階級2
風速4-6ノット
参考波高　0.2メートル
（最大0.3メートル）

風力階級3
風速7-10ノット
参考波高　0.6メートル
(最大1メートル)

風力階級4
風速11-16ノット
参考波高　1メートル
(最大1.5メートル)

風力階級5
風速17-21ノット
参考波高　2メートル
(最大2.5メートル)

風力階級6
風速22-27ノット
参考波高　3メートル
(最大4メートル)

風力階級7
風速28-33ノット
参考波高　4メートル
(最大5.5メートル)

風力階級8
風速34-40ノット
参考波高　5.5メートル
(最大7.5メートル)

風力階級9
風速41-47ノット
参考波高　7メートル
（最大10メートル）

風力階級10
風速48-55ノット
参考波高　9メートル
（最大12.5メートル）

風力階級11
風速56-63ノット
参考波高　11.5メートル
（最大16メートル）

風力階級12

風速64ノット以上

参考波高　14メートル以上

第５章　　雲の観測

雲は、微少な水滴や氷の粒からできており、それらが集まって空中に浮かんで見えるものである。それらが海面に接している場合は霧である。

雲が様々な外観を持つのは、雲が水滴からできているか氷の粒からできているかの違いや、粒の大きさと数、光の当たり方、気流の状態などの違いによるもので、これらは絶えず変化している。したがって、外観によって雲を区別するには、雲の大きさと形、構造と組織、明るさ、色合いなどを参考にするが、これらの変化を絶えず注意しておくことも必要である。

雲の観測結果は、大気の状態を間接的に示すとともに気象じょう乱(台風や低気圧など)に関連した分布をするので、総観的な気象解析に利用される。

５.１　　雲の観測

雲の観測は、

雲量(全雲量、雲の種類毎の雲量)

雲形

雲の高さ

雲の状態（C_L、C_M、C_H）

について行う。観測結果は、全雲量、最下層の雲の雲量、最下層の雲の高さ及び下層・中層・上層の雲の状態について通報する必要がある。最初に全雲量を観測し、次に雲の種類を識別し、それぞれの状態を認識することが基本となる。雲の種類や状態は、低い雲から高い雲の順に、また、高さが同じなら、雲量の多いものから順に観測する。

５.１.１　　雲量

雲量とは、雲に覆われた部分の全天空に対する見かけ上の割合である。

いろいろな種類の雲が現れている場合には、それら全ての雲によって覆われている部分の全天空に対する割合を「全雲量」という。

これに対して、ある種類の雲が単独で占める部分が全天空に対する割合をその雲の「雲量」という。一般に、雲は幾重にも重なって現れる場合が多いので、それぞれの雲の雲量の合計は全雲量より大きくなってもよい。

雲量は、天空に全く雲がない場合を0、天空が全部雲で覆われている場合を10とし、0から10までの整数で表す。ただし、雲があっても雲量1とするに足らない場合は0^+、雲量が10であっても、多少のすき間がある場合は10^-とする。観測に際しては、雲量が多いか少ないかのおおよその程度を初めに観測し、雲量の±1ぐらいは個人誤差にも含まれるので、あまり神経質になることなく大勢を誤らないようにする。

雲量を観測する場合に注意するべきことを次に述べる。

(1)　ある雲の雲量を決める際に、雲が重なり合って、その雲の一部分だけが見える場合は動きに注意する。一般に低い雲の見かけの動きは高いものに比べて速いので、相対的な雲の動きからそれぞれの雲量を推定できる場合もある。

(2)　水平線に近いところでは雲にすき間があるかどうかの見分けがつかないことがあるから、頭上付近の同じ種類の雲についてすき間の有無を考慮して雲量を決める。

(3)　夜間の観測は昼間に比べて難しい。明るい室内から外に出て観測する場合は、十分に目を慣らしてから行う。雲がはっきり見えないときは、星の光の見えない部分は雲に覆われているものとみなして雲量を決める。雲量がはっきりしないときには無理な推定を行わず不明とする。

(4)　濃霧のために空が全く見えなければ、これを雲と同様とみなして、雲量を10とする。

(注)もし霧を通して、あるいは霧のない部分から天空や雲が見える場合は、その程度に応じて雲量を決める。

(5)　煙霧・黄砂・降灰等が天空の全体、又は一部分を覆って雲を判断することができない場合にも濃霧の例にしたがう。

(6)　霧・煙霧・黄砂・降灰等が天空を覆っているが、それらが薄く、天空全体が透かして見える場合は、通常どおり雲量を観測する。

(7)　天空の一部が雨や雪などで隠されている場合には、それらを降らせているもとの雲がその部分を覆っているものとみなして雲量を決める。

5.1.2　雲形

雲形は10の類(一般には「10種雲形」と呼ばれる)に分けて観測する。雲形は絶えず変化しており基本的な雲形が現れるとは限らない。したがって現在現れている雲が、どの形に属するかを正しく判断して観測することがまず必要である。それには、観測者は雲形についてよく理解する必要がある(雲形の解説は5.2節で述べる)。夜間には、雲形の判別が困難な場合が多いが、この様なときは、無理な推定を行わず不明とする。

天空の一部が降水で隠されている場合には、降水を生じているもとの雲が、その部分を覆っているものとみなす。また、霧・煙霧・黄砂等を通して雲が見える場合はその雲形を観測する。

5.1.3　雲の高さ

雲の高さとは、海面から雲底までの高さをいい、各雲形別に100m単位で観測する。

雲は海面から10km内外の高さにわたって現れる。雲は現れている高さによって、上層、中層、及び下層の3段階に分類する。各層の高さの限界は緯度によって異なり、赤道地方では比較的高く、極地方では低い。雲形の判定が困難な場合でも雲の高さを知ることができれば雲形を決めるのに役立つことがある。

一般の船舶では、通報する際に詳細な高さが必要なのは最も低い雲の高さが2,500m未満の場合であり、海上では目測により雲の外観から高さを観測する。目測は経験によるしかないから、沿岸を航行する際に、山を横切るような雲の底によって、目測の練習をしておくとよい。

なお、雲のよく現れる高さについては、10の類の雲形とともに第5.1表に示してある。

5.1.4　雲の状態

C_L、C_M、C_Hは、雲形の観測結果を国際気象通報式により通報する場合に雲の状態を数字で表すものであり、観測結果の記録にも用いられる。この数字符号化は5.3節に記載した方法による。

5.2　雲形の解説

雲は、雲粒(雲を構成する水滴、氷晶)の大きさや数、水滴か氷晶かの違い、大気の運動の状態などによって、形、広がり、明るさ、色などが様々に変わる。雲は、主として形の特徴によって第5.1表に示すように10の類に大別され、細部の特徴、透明の程度などによってさらに細分される。10類の雲は大まかに上層の雲・中層の雲・下層の雲に分けられる。

第5.1表　10類の雲形の名称とよく現れる高さ

層	名　称	英　名	略語	よく現れる高さと説明		
上層 (C_H)	巻　雲 巻積雲 巻層雲	Cirrus Cirrocumulus Cirrostratus	Ci Cc Cs	極地方 3～8 km	温帯地方 5～13 km	熱帯地方 6～18 km
中層 (C_M)	高積雲 高層雲 乱層雲	Altocumulus Altostratus Nimbostratus	Ac As Ns	極地方 2～4 km	温帯地方 2～7 km	熱帯地方 2～8 km
				As：普通中層に見られるが、上層まで広がっていることが多い。 Ns：普通中層に見られるが、上層及び下層まで広がっていることが多い。		
下層 (C_L)	層積雲 層　雲 積　雲 積乱雲	Stratocumulus Stratus Cumulus Cumulonimbus	Sc St Cu Cb	極地方 海面付近～ 2 km	温帯地方 海面付近～ 2 km	熱帯地方 海面付近～ 2 km
				Cu、Cb：雲底は普通下層にあるが、雲頂は中、上層まで達していることが多い。		

ここでは、WMOによる雲形の解説に基づいて、10類の雲形について上層の雲・中層の雲・下層の雲に分けて、次の項目の順に解説する。

(ア)　概要：雲の外観の基本的な特徴
(イ)　詳細：雲の塊の配列の型、透明度の相違や、雲内部の構造上の相違など
(ウ)　似た雲形との違い
(エ)　発生や変化
(オ)　降水との関係

なお、雲形と降水との関係については第5.2表にも示した。

第5.2表　雲形と降水現象

雲形 / 降水現象	As	Ns	Sc	St	Cu	Cb	雲なし
雨	○	○	○		○	○	
霧雨				○			
雪	○	○	○	○	○	○	
霧雪				○			
雪あられ			○		○	○	
細氷							○
ひょう						○	
氷あられ						○	
凍雨	○	○					

(注)International Cloud Atlas Vol.1 (1975)による。

用語については以下に定義する。

(1)　半透明　　雲を通して太陽や月を見るとき、すりガラスを通して見るように輪郭がぼやけて見える程度

(2)　不透明　　太陽や月の輪郭が分からなくなる程度

(3)　悪天時　　降水時及びその前後

５.２.１　　上層の雲

(1)　巻雲　英字略語(Ci)

(ア)概要

毛のように見え、絹のような光沢がある離ればなれの雲で、白い繊細な線又は細い帯、あるいは塊などの形をしている。この雲は氷晶が集まってできている。

(イ)詳細

線状のCiには、直線に近いもの、不規則に曲がったもの、もつれているものなどがある。また、コンマや房のような形になったり、先端がかぎのように曲がったりしているものもある。

太陽の方向にある濃いCiは、灰色がかったり、ときには太陽の輪郭をぼかしたり、太陽をほとんど隠してしまうことさえある。まれには、丸みのある小さな房のような形をして尾を伴い、孤立して現れるCiもある。また、濃いCiの塊から、いくつかの小さなこぶや塔のような形をした突起が立ち上がり、ときにはそれがのこぎりの歯のように見えることもある。

日中、水平線から離れているときは、Ciは他の雲よりさらに白く見える。また、水平線近くでは黄色やオレンジ色を帯びるが、他の雲よりは白っぽい。日没には、Ciの色は、黄、ピンク、赤と変わり、ついには灰色となる。夜明けには色が逆に変わる。

太陽や月のかさが現れることもあるが、Ciは空いっぱいに一様に広がることはないので、かさは輪にならない。

(ウ)似た雲形との違い

CiとCsとの区別：雲が離ればなれになっていればCi、ベール状につながっていればCsとする。

(エ)発生や変化

Ciは、CcやAcが尾を引いてできたり、Cbの頂部が広がってできることが多い。また、Csの薄い部分が蒸発してCiに変わることもある。雲のないところにCiが新たに発生することもある。

(2) 巻積雲　英字略語(Cc)

(ア)概要

非常に小さな雲の塊が、小石を並べたように集まった白い雲で、空の一部にまとまっていることが多いが、全天に広がることもある。

小さな雲塊は、互いにくっついてとけ合っていることも、離ればなれになっていることもあるが、全体としてはかなり規則的な配列をしていて、ときにはそれがさざ波状に見える。雲が水平線上30°以上の高さにあるときの雲塊の見かけの大きさは視角1度(腕をいっぱいに伸ばした時ときの小指の幅に相当)以下である。この雲は氷晶が集まってできている。一時的に著しく過冷却となった水滴が混じることもあるが、急速に氷晶に変わる。

(イ)詳細

Ccは、ときにはその輪郭がレンズ状になる。また、雲層には、多少規則的な配列をした小さな丸い穴があいて、はちの巣のように見えることがある。それぞれの雲塊には、小さな塔やこぶのような突起ができることがあり、また、房状になって底がほつれることもある。

Ccには陰影がなく、雲を通して太陽や月の位置が分かるほど薄い。光冠や彩雲の現れることがある。

(ウ)似た雲形との違い

CcとCiやCsとの区別：雲層全体が繊維状をせず非常に小さい雲塊が見られるときは、CiやCsではなくCcとする。

CcとAcとの区別：雲が水平線上30°以上にあるときの雲塊の大きさが視角1°以下で、陰影がなければ、AcではなくCcとする。また、CcはCiやCsと共存するか、又はそれから変化してできる場合が多いので、その雲形の周囲の雲形を見ることによりCcとAcの区別をすることができる場合もある。

(エ)発生や変化

CcはCiやCsから変化してできたり、Acの雲塊が小さくなってできたりするが、新たに発生する場合もある。

(3) 巻層雲　英字略語(Cs)

(ア)概要

ベール状の白味がかった薄い雲で、筋のあることも、筋がなく一様に見えることもある。この雲は、空の一部を覆ったり、全天に広がったりする。

この雲は氷晶の集まりで、通常は太陽や月のかさが現れる。

(イ)詳細

Csは、はっきりした筋目が見えることもあり、それが見えず霧のように一様なベールとなっていることもある。Csの縁辺は、はっきりしていることも、ぼけてCiになっていることもある。

Csは、普通は薄い雲であるため、太陽高度が低くなければ、太陽は地物に影を作る。非常に薄いときは、太陽や月のかさによって初めてCsのあることが分かる。

Ciの色についての説明は、Csにも当てはまる。

(ウ)似た雲形との違い

次のようにしてCsとAs、Stあるいは煙霧などとを区別する。

Csを通して見る太陽は、輪郭がはっきりしていて、その光は地物に影を作る。これに対してAsは、すりガラスを通したように見え、影はできない。また、Asには太陽の月やかさが現れず、Csは、外観や厚みの変化、動きなどがAsに比べゆっくりしている。しかし、地平線近くにある場合はその判断が難しい。

Stは、太陽の方向では非常に白く見えるが、普通は灰色がかって毛状の筋がなく、非常に低温でない限り太陽や月のかさができない。

煙霧は普通、汚れた黄色ないし茶色っぽい色をしている。

(エ)発生や変化

Csは、広い範囲の気層が高空でゆっくり上昇してできる。また、Ci又はCcの雲辺がとけあったり、Ccから降下した氷晶が広がったり、Asが薄くなったり、Cbのかなとこの部分が広がったりしてできる場合もある。

5.2.2　　中層の雲

(1)　高積雲　英字略語(Ac)

(ア)概要

薄い板、丸味のある塊、ロール状などの雲塊が集まってできた白か灰色の雲で、普通は陰影が見られる。その広がりは、小さいこともあるが、全天を覆うほどのものもある。

雲塊の一部が毛状になったり、乱れていることがある。また、互いにくっついていることも、離ればなれのこともある。やや規則的に並んだ雲塊の見かけの大きさは、普通1～5°である。

Acの大部分は、普通水滴の集まりであるが、非常な低温では、一部が氷晶になる。

(イ)詳細

広い範囲に広がった雲層は、2層以上重なっていることがある。雲層に小さな穴がいくつもあいていて、規則的に並び、はちの巣のように見えることがある。雲底は、ときには波状や浮き彫り状の起伏をしていることがある。太陽や月の位置が分かるほど薄いものもあり、また太陽や月を隠してしまうほど厚いものもある。

一つの雲塊あるいは多くの小さな雲塊の集まりが、なめらかな外観を呈してレンズの形に見えることがある。

共通の雲塊から、小さなこぶや塔のようなものが並んで盛り上がったり、上部が盛り上が

った離ればなれの雲塊の底がほつれて、房のような形となることがある。これは、雲のある気層が不安定なことを示している。

薄いAcが月の近くにあるときは光冠がよく現れ、太陽の近くにあるときには彩雲が見られることがある。

(ウ)似た雲形との違い

AcとAsとの区別：薄板や塊、ロールなどの形が認められる雲はAcとする。

AcとScとの区別：水平線上30°以上の高さにある雲塊の大きさが5°以下ならAcとする。

AcとCuとの区別：Acの雲塊は比較的小さく、雲底がほつれて毛状をしたり、尾を引いていることが多いことなどを手がかりとする。

(エ)発生や変化

Acは、広い範囲の気層が上昇するときその縁辺の部分にできたり、中層にあるじょう乱や対流でできることが多い。

Acは、Ccの雲塊が大きくなったり厚くなったりしてできるほか、Scの雲層が分裂したり、As又はNsが変化してできることもある。また、CuやCbが広がってできることもある。

レンズの形をしたAcは、山岳や島の風下側にできる波状の気流の影響でできることが少なくない。

(2)　高層雲　英字略語(As)

(ア)概要

灰色又は青味がかった薄墨色の雲で、筋やしまが見られることもあり、むらがなく一様な外観をしていることもある。空の一部あるいは全天を覆い、薄い部分では、すりガラスを通してみたようにぼんやり太陽や月の存在が分かる。太陽や月のかさは現れない。

この雲は、水滴と氷晶の集まりで、雨滴や雪片が含まれていることもあり、雲の上部は大部分が氷晶でできている。非常に低温のときは、ほとんど全部が氷晶でできていることがある。

この雲の規模は、水平方向(数10～数100km)にも、鉛直方向(数100～数1000m)にもかなり大きい。

(イ)詳細

ほとんど同じ高さの二つ以上の雲層が重なりあい、それらの一部がくっついていることがある。また、波状をしていたり、雲底が乳房状になったり、降水による尾が現れたりすることがある。

降水が蒸発して雲の下の乱れた気流が飽和すると、ちぎれた雲ができる。ちぎれ雲は、はじめ小さく、Asの雲底からかなり離れたところにできるが、Asが厚くなり雲底が低くなると、ちぎれ雲も数と大きさを増し、ついには一緒になってしまう。

(ウ)似た雲形との違い

AsとNsとの区別：AsはNsに比べ明るい灰色をしていることや、太陽の位置が分かるほど薄い部分があること、雲底が一様でないことなどが手がかりとなる。月のない夜など、区別ができないときは、雨か雪が降っていればNsとする。

AsとStとの区別：雲を通して太陽を見たとき、Asではくもりガラスを通したようにぼんやり

見え、また太陽の方向ではStは白いが、Asは白くないことなどによる。

(エ)発生や変化

Asは、普通広範囲の気層がゆっくり上昇してできる。Csが厚くなったり、Nsが薄くなってできることもあり、広い範囲にわたって氷晶の尾を伴ったAcから成長することもある。熱帯地方では、Cbの上部又は、中部が広がってできることがある。

(オ)降水との関係

Asからの降水は、連続した雨、雪又は凍雨となる。

(3)　乱層雲　英字略語(Ns)

(ア)概要

暗灰色の厚い雲で、雨や雪のためぼやけて見えることが多く、太陽は雲に隠されてしまう。この雲の下にはちぎれ雲が発生することが多く、ちぎれ雲は上の雲につながることもある。NsはAsと同じように非常に広がりが大きく、厚い。

この雲は、水滴、雨滴、氷晶及び雪片、あるいはこれらの混合したものでできている。

(イ)詳細

Nsは普通全天を低く覆い、この雲の下に発生したちぎれ雲は、くっついて連続した雲層になることがあり、上の雲を隠すようになる。このため、ちぎれ雲の下面とその上のNsの下面とが混同されやすい。

Nsは熱帯地方では、雨の小やみのときに、一時的にいくつかの雲層に分裂することがある。

(ウ)似た雲形との違い

NsとStとの区別：Nsは太陽を隠してしまうほど厚く、見かけは非常に湿っぽい感じがするのに対して、Stは薄い部分から太陽や月の輪郭がはっきり見え、見かけは乾いた感じがする。また、降水が雨か霧雨かも判別の手がかりとなるが、この場合、Stの上にNsがあって雨が降っていることがあるので注意する必要がある。

NsとCuとの区別：降水がしゅう雨性であればCuとする。

NsとCbとの区別：電光、雷電、ひょう又はしゅう雨性降水があればCbとする。

(エ)発生や変化

NsはAsが厚くなってできることが多いが、Cbが広がってできることもある。また、まれではあるが、AsやScが厚くなったり、Cuが広がってできることがある。

(オ)降水との関係

この雲からの降水は、連続した雨、雪又は凍雨となる。

5.2.3　　下層の雲

(1)　層積雲　英字略語(Sc)

(ア)概要

丸味のある塊、薄い板、ロールなどの形の雲塊が集まった白又は灰色の雲の層で、暗い影の部分がある。この雲は空の一部又は全天に広がって現れる。雲塊は、互いにくっついていることも、離ればなれになっていることもある。水平線上30°以上の高さにある雲塊の見か

けの大きさは、普通5°以上である。

この雲は、普通は水滴の集まりで、毛状の部分はない。ただし、非常に寒いときは、氷晶を伴い、尾を引いたように氷晶が落下して輪郭がぼけることがある。

(イ)詳細

雲塊は、ときにはレンズ状になることがあり、やや規則的な配列をしていることもある。

並んだ丸い穴ができて、はちの巣状になったり、雲底が一様でなく、雲の塊が浮き彫りとなってはっきり見えたりする。共通の雲底から立ち上がった塔のような形のものもある。

雲の厚さはまちまちで、太陽を隠してしまうほど厚いこともあり、ときには二層以上も重なっていることもあるが、またときには、太陽の位置が分かるほど薄いこともある。雲が薄いときは、光冠や彩雲の現れることがある。

(ウ)似た雲形との違い

ScとCuの区別：雲塊がやや平たく、群れをなしているようならScとする。Scは雲頂が塔のように立ち上がることがあるが、つながった共通の雲底から立ち上がっていることによってCuと判別する。

(エ)発生や変化

Scはそれほど不安定でない大気中にできることが多い。普通は新たに発生するが、CuやCbが広がってできることも多く、また、Ac、Ns、又は、Stなどが変化してできることもある。

(オ)降水との関係

Scは、弱い雨、雪及び雪あられを伴うことがある。

(2)　層雲　英字略語(St)

(ア)概要

雲底の高さがほぼ一様な灰色の雲層である。この雲を通して太陽が見えるときは、その輪郭がはっきりしている。ときにはほつれたちぎれ雲となることがある。

この雲は普通水滴でできている。しかし、非常に低温のときには、微小な氷の粒が含まれていることがあり、ごくまれには、太陽や月のかさが現れることがある。

(イ)詳細

Stは、霧のような一様な雲層として現れることが多く、丘や高い建物の上部を隠してしまうことがある。雲を通して太陽や月の位置が分かるときには、光冠が現れることがある。ときには太陽や月を隠してしまうほど厚いこともあり、雲底が波状になることもある。

降水があるときやその前後など悪天の際は、As、Ns、Cu及びCb等の下にStの黒ずんだちぎれ雲がよく現れる。(As、Nsの項参照)

(ウ)似た雲形との違い

ちぎれ雲がStかCuかを見分けるには、Cuのほうが、白く厚ぼったく、鉛直方向にいくらか丸味をもった盛り上がりが見られることなどを手がかりとする。

(エ)発生や変化

Stは、地面が暖められ、あるいは風が強くなって、霧の層がゆっくり上昇してできることが多い。また、海上に発生した霧が陸上に流れてきてStとなることもある。

Stのちぎれ雲は、Stの雲層が発生する前や消滅するとき、あるいは雲層の縁辺部などに現

れる。悪天の際に現れるちぎれ雲は、降水によってAsやNsなどの下の乱れた気層が飽和して発生する。

StはScが変化してできることがある。

(オ)降水との関係

Stからは霧雨、霧雪又は雪が降ることがある。

(3) 積雲　英字略語(Cu)

(ア)概要

離ればなれの雲で、雲塊は厚ぼったく、輪郭がくっきりしている。鉛直に盛り上がり、塔やドーム又は丸い丘のような形をすることが多い。その上部はときには、カリフラワーのような形になる。太陽に照らされた部分は、白く輝いているが、雲底は比較的暗く、ほぼ水平である。またほつれたちぎれ雲になることがある。降雪を伴うときは輪郭がぼけることが多い。この雲はおもに水滴の集まりで、雨滴や雪片が含まれていることもある。非常な低温の部分には、氷晶が発生することがあるが、その場合はCbに変化する。

(イ)詳細

Cuは鉛直方向に発達の程度によって、平たい形(厚さ数10～数100m)、中程度に伸びて頭にこぶのある形(厚さ数100～約2000m)、及び、大きく盛り上がって頭がカリフラワーのような形(厚さ約2000～5000m)などになる。これらの雲は、ほつれた白いちぎれ雲を伴う場合がある。発達の各段階にある雲は、同時に現れることがあるが、雲底の高さはほぼ同じである。

悪天のときには、As、Ns、Cu及びCbの下にCuの黒ずんだちぎれ雲がよく現れる。(As、Nsの項参照)

(ウ)似た雲形との違い

Cbは普通、Cuが発達してできるので、発達したCuとCbとは区別しにくい。このような場合は、雲の頂部に着目し、その輪郭がはっきりしていてかなとこ状に平らな部分がどこにも見られず、毛状や筋状の外観がなければCuとする。雲の頂部を見ることができない場合は、電光、雷電又はひょうなどがなければCuとする。

(エ)発生や変化

Cuは、地表が日射によって熱せられたり、相対的に暖かい地面や海面上で寒気が暖められて起こる対流の中で発生することが多い。Cuは、始め煙霧の塊のようなものができ、それが雲塊に成長してできることがしばしばある。

Cuは、Ac、Sc、及びStが変化してできることがある。悪天の際のちぎれ雲は、同様なときに出来できるStのちぎれ雲と成因がほとんど同じである。

(オ)降水との関係

しゅう雨性の降水を伴うことがあり、発達した雲からの降水はかなりの強さになることがある。

(4) 積乱雲　英字略語(Cb)

(ア)概要

鉛直方向に伸びた厚い雲で、山か巨大な塔のような形をしている。雲の頂の一部は、ほつ

れているか毛状をしていて、平たくなっていることが多い。この部分は、しばしば、かなとこ状あるいは羽毛状に広がっている。雲の底は非常に暗く、その下にちぎれ雲を伴い、ときには降水による尾を引いている。

この雲は、水滴と氷晶でできている。特に頭部は氷晶である。また、大きな雨滴、雪片、氷あられ、雪あられ、ひょうなどを含んでいて、高い部分の水滴や雨滴は過冷却している。

(イ)詳細

この雲は非常に大きく高いので、近くでは全体の特徴がつかみにくい。初期のCbの頭部にはまだ丸いこぶが残っているが、さらに発達すると完全に毛状又は筋状に変わる。気温が低いときには、鉛直にさほど発達しなくても上部が毛状となる。また、非常な低温では、雲の大部分が毛のような構造となることがある。

Cbは単独の雲塊として現れることもあり、また、一列に並んで大きな壁や土手のように見えることもある。頭上近くにあるときは、その雲底は非常に暗く、ちぎれ雲を伴うことがある。Cbの雲底には乳房状や漏斗状の垂れ下がりができることがある。Cbの上部は、As又はNsとくっついてしまうことがある。またCbがAs又はNsの中に発達することもある。

(ウ)似た雲形との違い

CbとNs又はCuとの違いについては、乱層雲及び積雲の項参照。

(エ)発生や変化

CbはCuが発達してできる。Ac、As、Ns又はScが発達してできることもある。

(オ)降水との関係

Cbは強いしゅう雨性の降水を伴うことが多く、ときにはひょうを伴う。また、雷電や突風の起こることもある。

5.3　雲の状態(C_L・C_M・C_H)の観測

C_L・C_M・C_Hは、雲形の観測結果を通報するためのもので、C_Lは下層の雲の状態、C_Mは中層の雲の状態、C_Hは上層の雲の状態を示すものである(第5.1表参照)。雲の状態をこれらの数字符号で表すには、先に述べた10類の雲形のみでなく、雲形の細かな特徴、それぞれの雲の量・厚さとそれらの変化、雲形の組合せなどを観測する必要がある。このため観測にあたっては、時間的な変化にも気を付ける必要があり、観測時間外でも注意を払い、雲の観測に熟練しておくことが大切である。

C_L・C_M・C_Hの数字符号のうち0は、それぞれに属する雲がない場合に用いる。又、霧・煙霧・黄砂などの現象や、連続した低い雲のため、その上の雲を観測できない場合は×の符号で表す。×は暗くて雲が観測できない場合にも用いる。

5.3.1　C_L(対象となる雲：Sc・St・Cu・Cb)

(1)　C_L=1　Cu　へん平な積雲

形成の初期又は消散期のCu。

雲頂は平たいかしぼんだ形をしている。雲頂がいくぶん丸くふくれているものもあるが、カリフラワーのような外観はない。ときには強い乱れた風のためほつれていて、一部はちぎ

れ雲となっている。ただしこのちぎれ雲は色が白く、悪天のときにAs、Ns、Cbなどの下に見られる黒ずんだちぎれ雲ではない。Cbはない。発達したCu、あるいはCuやCbから変化したScはない。Stや悪天のときのちぎれ雲、又は、雲底の高さが同じで、Cuから発達したものではないScはあるが、それらの量は前記のCuの量よりも少ない。

(2)　C_L=2　　Cu　並又はそれ以上に発達した積雲

中程度以上に発達したCu。

鉛直方向にかなり盛り上がったCuが、塔のような形になっていることもある。雲塊には塔又はドームのような形の突起があって、ときにはそれらがカリフラワーのような形になる。このCuと同じ雲底の高さで、C_L=1のCu、又はScが同時に現れることもある。Cbはない。CuやCbから変化したSc、又は、この雲と雲底の高さが違うScはない。

(3)　C_L=3　　Cb　無毛状の積乱雲

はっきりした羽毛状やかなとこ状の外観が現れていないCb。

雲頂の一部では、くっきりした輪郭が崩れ始めていることが多い。発達したCuに見えても、電光、雷電又はひょうなどがあった場合は、Cbとし、C_L=3を適用する。Cbが現れている場合のC_Lは、3又は9のいずれかを使用する。

(4)　C_L=4　　Sc　積雲が広がってできた層積雲

Cuが広がってできたSc。

Cuが共存していることがある。St又はC_L=5のScがあってもよい。Cbはない。

(5)　C_L=5　　Sc　積雲が広がってできた層積雲以外の層積雲

Cuが広がってできたものではないSc。

Cuが広がってできたSc、中程度以上に発達したCu、雲底の高さの違うCu、又はCbはない。その他のCu、又はSt、あるいは悪天の際のちぎれ雲があっても、その量がScの量より少ない。

(6)　C_L=6　　St　安定気層の中で発生する層雲

悪天の際のちぎれ雲を除くSt。

Cuが広がってできたSc、中程度に発達したCu、雲底の高さの違うCuとSc、又はCbがない。その他のCu又はSc、あるいは悪天の際のちぎれ雲があっても、その量がStの量より少ない。

(7)　C_L=7　　Cu、St　悪天時のちぎれた積雲又は層雲

悪天の際のちぎれ雲。

Cuが広がってできたSc、中程度に発達したCu、雲底の高さの違うCuとSc、又はCbはない。その他のCu又はScがあっても、その量が悪天の際のちぎれ雲より少ない。

(8)　C_L=8　　Cu・Sc　雲底の高さが違う積雲と層積雲

雲底の高さが違うCuとScが共存。Cuから変化したScはない。

Scの下にCuがある場合や、Cuの頂部がその上にあるScに達したり、さらにそれを突き抜けている場合などがある。また、Scの上にCuがある場合もある。しかし、Cuが広がってScに変わるようなことはない。Cuから変化してできたSc、あるいはCbはない。他にC_Lの雲があってもC_L=3、4、9に当てはまるものを除き、この数字符号を優先する。

(9)　C_L=9　　Cb　多毛状の積乱雲

雲頂は羽毛状の形がはっきり現れたCb。

羽毛状の部分がしばしばかなとこのような形になる。頭上をCbが覆っていて、C_L=3か9かの

判別がしにくい場合は、電光、雷電、又はひょうがあれば、C_L=9とする。

5.3.2　　C_M(対象となる雲：Ac・As・Ns)

(1)　C_M=1　　As　半透明状の高層雲

太陽や月の位置が分かる程度に薄いAs。

Ac又はNsはない。

(2)　C_M=2　　As、Ns　不透明状の高層雲又は乱層雲

太陽や月を隠してしまうほど厚いAs、あるいはNs。Acはない。

(3)　C_M=3　　Ac　半透明状の高積雲

雲の薄い部分から太陽や月の位置が分かる程度のAc。

雲は1層になっていて、全体として空に広がる傾向や厚くなる傾向がなく、雲片や雲塊は変化　が遅い。塔状の盛り上がりがあるAc、CuやCbから変化したAc、As、又はNsはない。

(4)　C_M=4　　Ac　半透明状の高積雲（レンズ状）

雲の薄い部分から太陽や月の位置が分かる程度のAc。

形は常に変化していて、その高さもまちまちなことが多く、レンズのような形で現れることが多い。雲は全体として空に広がる傾向はない。CuやCbに伴って現れることもある。塔状の盛り上がりがあるAc、CuやCbから変化したAc、As又はNsはない。

(5)　C_M=5　　Ac　空に広がる傾向がある半透明状の高積雲

空に広がる傾向、あるいは全体として厚くなる傾向のあるAc。

太陽や月の位置が分かる程度の厚さの波状や、帯状又はロール状のAc、あるいは、それより厚いAc。幾層にも重なっていることがある。雲層は、はじめに雲が現れた方向の地平線に近いほうが厚いことが多い。雲層の先端が、雲の現れたところとは反対側の地平線に達したり、先端の伸びが止まった後はC_M=5としない。塔状の盛り上がりがあるAc、CuやCbから変化したAc、As、又はNsはない。

(6)　C_M=6　　Ac　積雲又は積乱雲から発生した高積雲

CuやCbが広がってできたAc。

しばしばCu又はCbと共存している。塔状の盛り上がりのあるAc、As、又はNsはない。

(7)　C_M=7　　Ac、又はAcとAs・Ns　多重層の高積雲（半透明、不透明）

太陽や月の位置が分からないほど厚いAc。あるいは2層以上のAc。

全天に広がる傾向はなく雲塊は常に変化しない。又は、AsかNsを伴うAc。AsかNsと共存している場合は、雲層は1層のこともあれば、2層に分かれていることもある。この状態は、Acが部分的に、As又はNsに変化したり、逆に、AsやNsが分裂して部分的にAcに変わる場合に見られる。また、ときにはAcの上にAsが存在するような場合もある。塔状の盛り上がりのあるAcはない。

(8)　C_M=8　　Ac　塔状又は房状の高積雲

小さな塔が並んだり、小さなこぶが盛り上がっているAc。又は、Cuのように盛り上がって丸味のあるAc。

下部がほつれて房状をしたり、尾を引いていることがある。

(9)　C_M=9　　Ac　こんとんとした空に現れる高積雲

こんとんとした険悪な空模様で、種々の高さに種々の形のAcが現れ、重苦しく、よどんだように見える。雲はちぎれていたり、Cuのように盛り上がっていたり、レンズ状をしていたり、形がまちまちである。又、Asの毛状のベールが部分的に見られることもある。

5.3.3　　C_H(対象となる雲：Ci・Cc・Cs)

(1)　C_H=1　　Ci　毛状の巻雲、かぎ状の巻雲

離れ離れの毛状のCi。

直線に近いか不規則に曲がった線状のCiである。ときには、コンマの形をしたり、線の端がかぎのように曲がっていることがある。空に広がる傾向はない。C_H=2の濃いCi、あるいはCcがあっても、その量はこのCiの量より少ない。Csはない。Cbから生じたCiはない。

(2)　C_H=2　　Ci　濃密な巻雲

濃いCi。

丸味を帯びた房のような形をしたり、小さなこぶが立ち上がっているような形のものがある。空に広がる傾向はない。C_H=1の薄いCi、あるいはCcがあっても、その量はこのCiの量より少ない。Csはない。Cbから生じたCiはない。

(3)　C_H=3　　Ci　積乱雲から発生した濃密な巻雲

Cbから生じたCi。

普通は濃い部分がある。たいてい、全天を覆うほど広がらない。Ccがあってもその量はCiの量より少ない。Csはない。空に広がる傾向のあるCiはない。

(4)　C_H=4　　Ci　空に広がりつつあるかぎ状又は毛状の巻雲

地平線から空に広がりつつあるCi。

普通は全体として厚くなってゆく。Ciは初め地平線の一部に現れ、雲の前面が次第に反対方向の地平線に向かって広がる。普通このCiは、端がかぎのような形に曲がっていたり、コンマの形をしていることが多く、帯状に並んで空を横切り、水平線上の1点又は相対する2点に収束しているように見えることが多い。Ccはあってもその量はCiの量より少なく、Csはない。

(5)　C_H=5　　Ci・Cs　巻雲と巻層雲又は巻層雲単独

CiとCs、又はCs。

C_H=4に述べたような空に広がる傾向がある。普通は全体として厚くなってゆくが、連続したベール状の部分は水平線上45°以上の高さには達していない。広がりつつあるCsの縁辺に現れるCiは、端がかぎのような形に曲がっていることが多い。Ccがあってもその量はCiとCsの総量より少ない。

(6)　C_H=6　　Ci・Cs　巻雲と巻層雲又は巻層雲単独

C_H=5と同じ状態であるが、連続したベール状の部分は、水平線上45°以上の高さに達している。

普通はC_H=5から変化する。

(7)　C_H=7　　Cs　巻層雲

全天を覆うCs。

普通はC_H=6から変化する。下層の雲、霧あるいは煙霧などのため、Csが全天を覆っているかどうか、推定もできない場合はC_H=8とする。

(8)　C_H=8　　Cs　巻層雲

完全に全天を覆ってはいないCs。

C_H=5、6のCsのように、次第に広がる傾向はない。又は、空の一部だけにあるCsで、この場合は量が増加してもよい。CiやCcがあってもよい。Ccの量はCiとCsの総量より少ない。

(9)　C_H=9　　Cc　巻積雲

Ccだけ現れているか、CiやCsがあっても、それらの総量はCcの量より少ない。

5.3.4　　C_L･C_M･C_Hの数字符号の選び方

C_L･C_M･C_Hの数字符号を選ぶ場合、選び方に優先順位がある。ここでは、それらの符号の選び方や、同時に二つ以上の数字符号に相当する状態が現れた場合の符号の選び方について述べる。なお、数字符号を選ぶ場合には、第5.1図、第5.2図、第5.3図の各図を使用すると便利である。

(1)　C_L(対象となる雲=Sc、St、Cu、Cb)

C_Lは、Cbがあるかどうかで2つのグループに分かれる。Cbがある場合にはC_L=3又は9になり、ない場合は1、2、4、5、6、7、8の中から選択する。その優先順位は次のとおりである。

$$C_L：9、3、4、8、2、\begin{cases}1\\5\\6\\7\end{cases}$$

ただし、1、5、6、7の優先順位は雲量の多いものの順とする。

(2)　C_M(対象となる雲=Ac、As、Ns)

C_Mは、Acがあるかどうかで2つのグループに分かれる。Acがない場合には、C_Mは2又は1となり、ある場合はさらに、Acだけの場合と、As、Nsと共存する場合に分けられる。Acだけの場合は、C_Mは、6、5、4、7、3であり、As、Nsと共存する場合は、C_Mは、9、8、7の中から選択する。その優先順位は次のとおりである。ただし、C_Mの7は、そのときの状態により、優先順序は異なる。

$$C_M:9、8、7^{(1)}、6、5、4、7^{(2)}、\begin{cases}7^{(3)}\\2、1\\3\end{cases}$$

$7^{(1)}$AcとNs又はAcとAsが共存している。

$7^{(2)}$2層以上のAc。

$7^{(3)}$単層のAcで太陽や月を完全に隠してしまうほど濃いもの。

なお、$7^{(3)}$と3の優先順位は雲量の多いものを優先する。

(3)　C_H(対象となる雲=Ci、Cs、Cc)

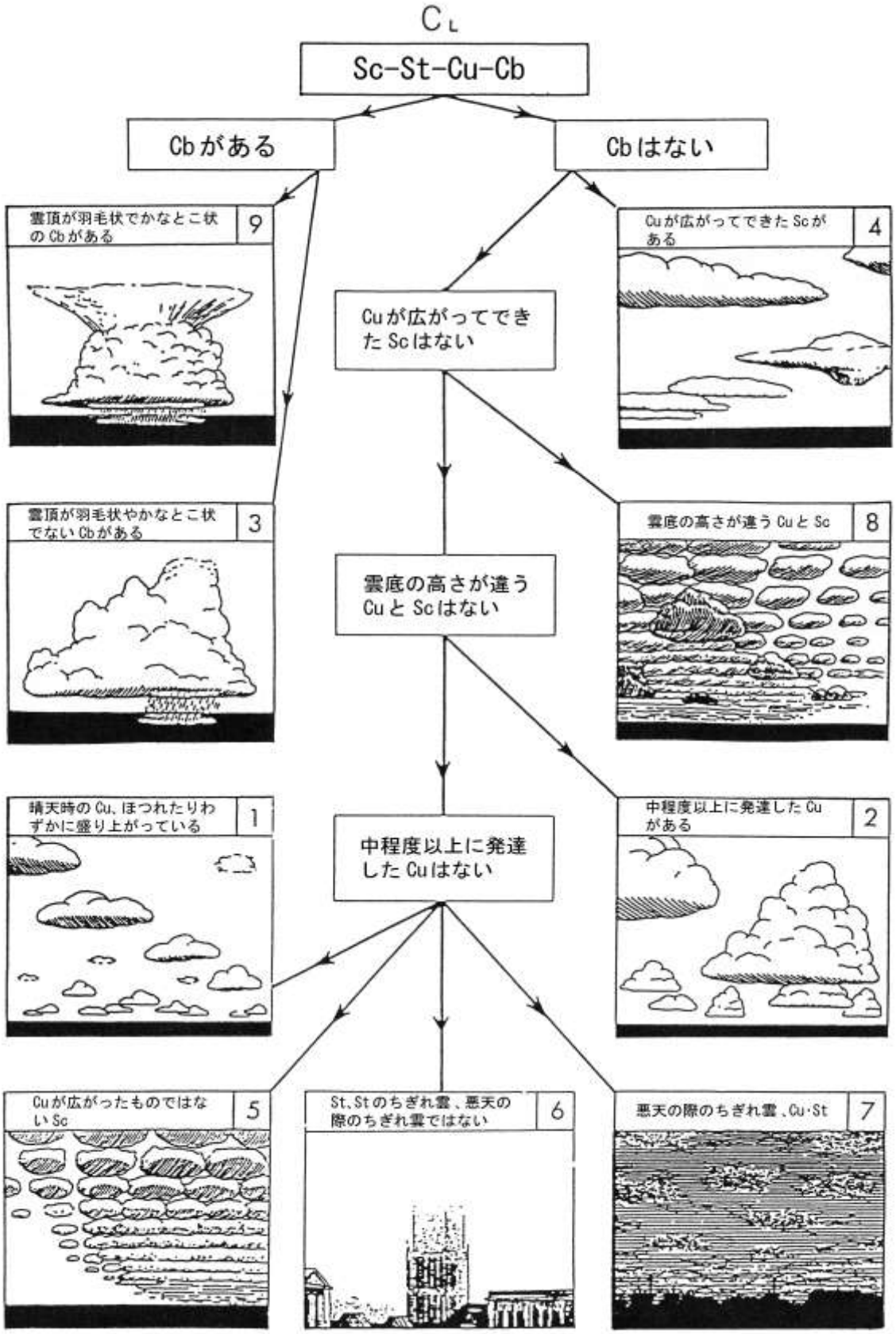
C_Hは、Ccだけの場合、あるいはC_Hの中でCcが卓越している場合のC_H=9とそれ以外の場合に分かれ、C_H=9以外のグループは、Csが有るかどうかでさらに、二つのグループに分かれる。Cs

がある場合はC_Hは5、6、7又は8、Csがない場合には1、2、3又は4となる。

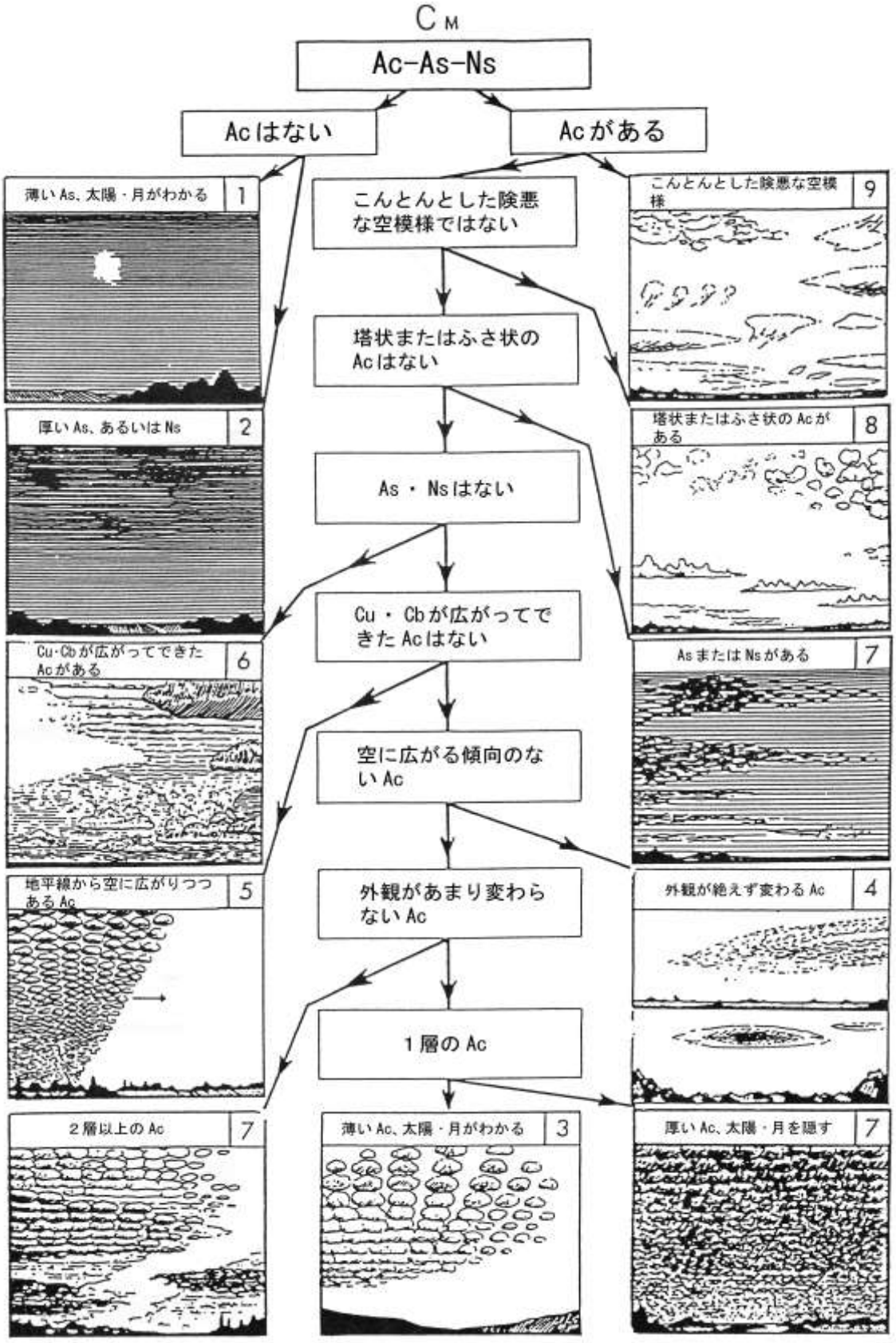
その優先順位は、次のとおりである。

C_H:9、7、8、6、5、4、3 $\left\{\begin{array}{l}1\\2\end{array}\right.$

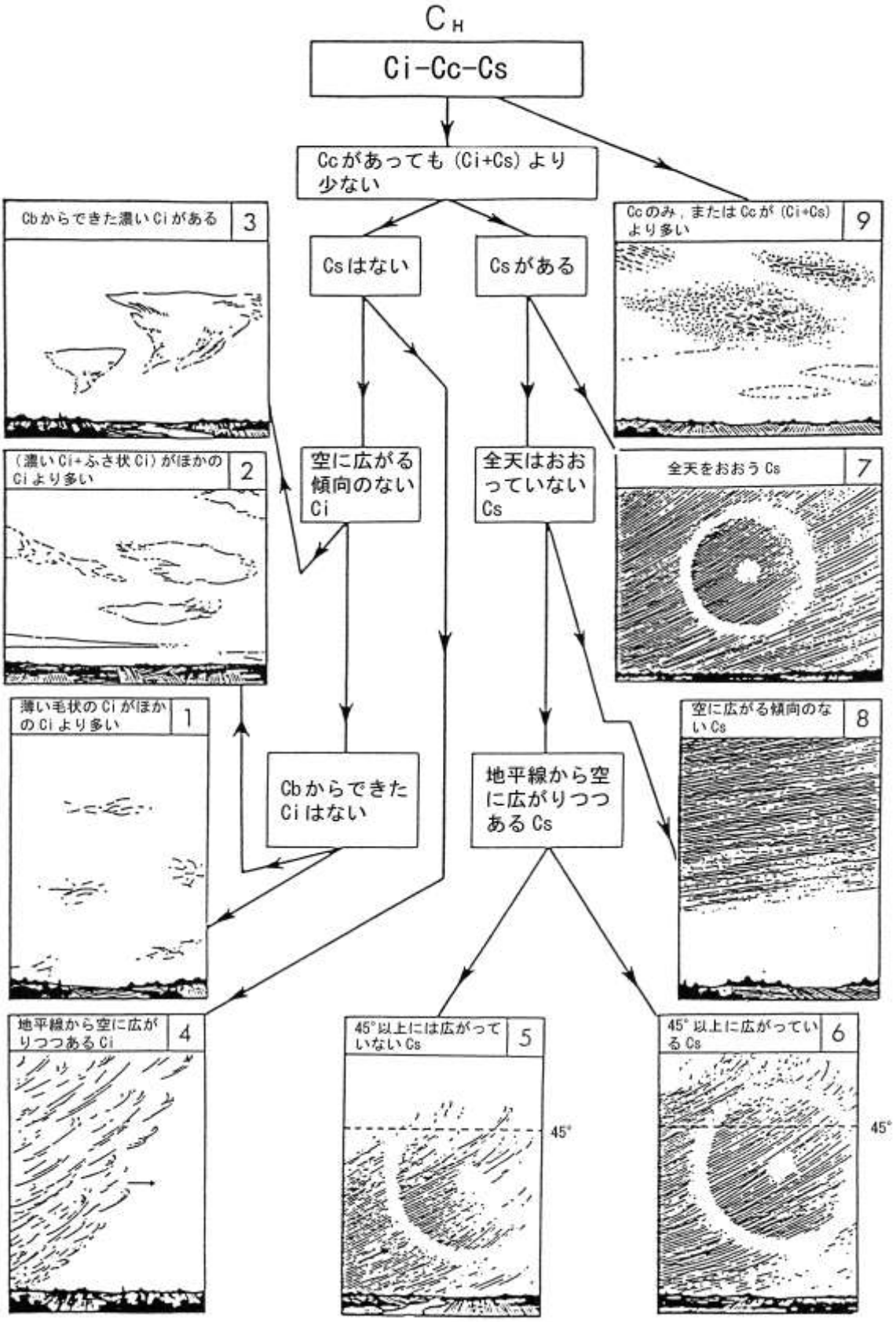
ただし、1、2の優先順位は、雲量の多いものの順とする。



第5.1図　C_Lの数字符号の選択



第5. 2図　C_Mの数字符号の選択



第5.3図　C_Hの数字符号の選択

C_L=1　ほとんど鉛直に伸びていないへん平な積雲、又は悪天候下のものでないときの積雲のちぎれ雲。

C_L=2　並の積雲、又は雄大積雲。
雲底が同じ高さであれば、積雲のちぎれ雲、へん平な積雲、層積雲があってもよい。

C_L=3　無毛の積乱雲。
雲の頂部は明瞭な筋状又は繊維状をしていない。
積雲、層積雲、層雲があってもよい。

C_L=4　積雲が広がってできた層積雲。積雲があってもよい。

C_L=5　層積雲。
ただし積雲が広がってできた層積雲ではない。

C_L=6　灰白色で一様な霧状の層雲、又は悪天候でないときの層雲のちぎれ雲。

C_L=7　悪天候下の層雲のちぎれ雲、又は積雲のちぎれ雲。
通常、高層雲又は乱層雲の下にある。

C_L=8　雲低の高さが違う積雲と層積雲。

C_L=9　多毛の積乱雲(かなとこ状をしていることが多い)。
無毛の積乱雲、積雲、層積雲、層雲、ちぎれ雲があってもよい。

C_M=1　半透明の高層雲。
太陽や月が曇りガラスを通して見るようにぼんやりと見える。

C_M=2　不透明の高層雲、又は乱層雲。
太陽や月を隠すほど濃い。

C_M=3　半透明の高積雲。
1層で、空に広がる傾向はない。

C_M=4　レンズ状の半透明の高積雲。
絶えず形が変化し、また、できたり消えたりする。空に広がる傾向はない。

C_M=5　帯状又はロール状の半透明の高積雲。
次第に空に広がっていく、あるいは全体が厚くなっていく。

C_M=6　積雲又は積乱雲が広がってできた高積雲。

C_M=7　2層以上の半透明か不透明の高積雲、又は高層雲か乱層雲を伴う高積雲、又は空に広がる傾向のない不透明の高積雲。

C_M=8　塔状の高積雲、又は房状の高積雲。

C_M=9　こんとんとした空の高積雲。一般にいくつかの層になっている。

C_H=1　毛状の巻雲、又はかぎ状の巻雲。
空に広がる傾向はない。

C_H=2　濃密な巻雲。
空に広がる傾向はなく、積乱雲からできたものではない。
又は塔状の巻雲、房状の巻雲。

C_H=3　積乱雲からできた濃密な巻雲（かなとこ状をしていることが多い）。

C_H=4　かぎ状の巻雲、又は毛状の巻雲。
次第に空に広がっていく。

C_H=5　巻雲(しばしば放射状である)と巻層雲、又は単に巻層雲。
次第に空に広がっていくが、水平線上45度以上には達していない

C_H=6　巻雲(しばしば放射状である)と巻層雲、又は単に巻層雲。
次第に空に広がっていき、水平線上45度以上に広がっているが、全天を覆ってはいない。

C_H=7　全天を覆う巻層雲。

C_H=8　巻層雲。
全天空を覆ってはいないし、また、それ以上空に広がる傾向はない。

C_H=9　巻積雲。
巻積雲のみ又は巻雲や巻層雲を伴うが、巻積雲が卓越している。

第６章　　視程の観測

視程は、どのくらい見通しがきくかという情報を与えるほか、大気の安定度を示す一つの目安となる。

大気中には霧・雨・雪などの水滴や、砂じん・ばい煙・海水のしぶきから生じた塩の結晶などの固体の粒子が浮遊していて視程を悪くする。また大気中に密度の異なる部分があってかげろうが発生するような場合にも光の屈折や散乱が起こり視程を悪くする。

このため、視程の観測結果は、気象解析のほか、視程障害時の交通機関の運行管理や大気汚染の状況把握などの資料として利用される。

６.１　　視程の定義

視程は、水面付近の大気の混濁の程度を距離で表したもので、昼間の視程は、その方向の空を背景とした黒ずんだ目標を肉眼で認められる最大距離、夜間の視程は、昼間と同じ明るさにしたと仮定した場合に、目標を認めることのできる最大距離である。したがって、混濁状態が同一の大気では、昼間、夜間に関係なく視程は同じである。

目標を認めるとは、目標の存在を確認できるだけでなく目標の形まで識別できることで、たとえば、船舶を船舶として認められることをいう。

視程が方向によって違う場合は、最短の距離で表す。

視程の観測は正常な視力の裸眼で行うもので、眼鏡等の視力の矯正は必要であるが、双眼鏡・望遠鏡・六分儀等を使用してはいけない。

観測した視程を船舶気象観測表に記入する場合及び通報する場合には、90～99の10階級の数字符号(第6.1表)を用いる。

第6.1表　視程の階級区分

VV	視　　程	VV	視　　程
90	50m未満	95	2km以上　4km未満
91	50m以上　200m未満	96	4km以上　10km未満
92	200m以上　500m未満	97	10km以上　20km未満
93	500m以上　1km未満	98	20km以上　50km未満
94	1km以上　2km未満	99	50km以上

６.２　昼間の観測

海上の観測では陸上のように固定された目標を利用できる機会は少ないので、視程の観測に際しては経験と熟練が必要である。

視程を観測するには、通常ブリッジ付近の見晴らしのよい場所を選ぶ。

霧などにより視程がきわめて悪いときには、自船の構造物を目標にして視程を決める。船体の下部のみ霧に包まれているようなときは、霧の最も濃い高さで観測する。

陸岸・山・島や航行中の他の船舶などが見えるときには、海図やレーダーにより距離を測定して、目標として用いると視程の推定が容易である。

外洋で全く目標がない場合には水平線までの距離を手がかりにする。船上の観測者から水平線までの距離L(km)は、海面からの観測者の目の高さh(m)によって値が変わり、その間には

$$L = 3.6\sqrt{h}$$

(km)　　(m)

の関係がある。

第6.2表　目の高さと水平線までの距離

目の高さ h (m)	2	4	6	8	10	15	20	25	30	40
水平線までの距離 L (km)	5	7	9	10	11	14	16	18	20	23

第6.2表はこの式から計算したもので、いろいろな高さから見た水平線までの距離を示す。例えば、15mの高さのブリッジでは水平線がぼやけて見えたが、8mの高さの甲板からはよく見えたとき、視程は14kmと10kmの間のおおよそ12km程度と推定できる。

水平線がよく見えるときの視程は水平線までの距離と同程度か、又はそれ以上であるから、視程を何kmにするかはそのときの大気の澄み具合を観察して推定する。そのためには、陸上の目標が利用できる沿岸航行中あるいは港湾停泊中などに視程の観測を行い、そのときの水平線の見え具合、鮮明さなどを記憶しておく。

６.３　夜間の観測

夜間の観測は、昼間に比べて難しい。明るい室内から外に出て観測する場合は、十分に目を慣らしてから行う。

夜間には他船の航海灯や陸地の明り、また水平線付近の星の輝きなどの程度なども参考とする。そのためには、これらの見える程度と視程の関係を知っておく必要がある。

第７章　　大気現象と天気の観測

大気現象は大気水象・大気じん象・大気電気象・大気光象に大別される。これについて7.1節、7.2節で説明する。なお大気光象は、太陽・月の「かさ」や虹など、通報内容と関連が小さいので説明は省略する。

天気とは、雲と大気現象とに着目した総合的な大気の状態をいう。本章で説明する天気とは、船舶気象報規則による通報及び船舶気象観測表の記入の際に参考とするためのものである(通報及び船舶気象観測表の記入は、「船舶気象観測表による報告および船舶気象報通報の手引」を参照)。

７.１　大気現象の種類と定義

７.１.１　　大気水象

大気水象は水滴又は氷粒が大気中を落下したり、浮遊したり、地表から風によって吹き上げられたり、あるいは地面又は地物に付着している現象である。

雨、雪、みぞれについては一様性の降水かしゅう雨性の降水かを区別して観測する。

しゅう雨性降水は急に始まり急に終わること、又は急にあるいは大きく雨の強さや量が変化することによって判別される。しゅう雨性降水では、個々の粒子(水又は氷)は一様な降水の場合に比べて一般に大きい。また一様な降水になるか、しゅう雨性となるかは降水をもたらす雲に関係する。すなわち、しゅう雨性降水は厚い対流性の雲(主に積乱雲)から降るが、一様な降水は普通層状の雲(主に高層雲、乱層雲)から降る。

大気水象の種類と定義は第7.1表のとおりである。記号は記事の記入に用いられるものである。しゅう雨性降水の場合には、大気現象の記号に▽を付して表す。

第7.1表　大気水象の種類と定義

種　　類	記号	定　　義　　解　　説
雨 Rain	●	水滴からなる降水。直径は多くは 0.5 ㎜以上であるがもっと小さいものがまばらに降ることもある。雨滴の直径と集中度は雨の強さや降り方によりかなり変化する。
しゅう雨 Rain shower	▽	雨滴は普通霧雨の粒よりも大きい。しかし降雨域の端で降っている雨滴は、蒸発のために霧雨の粒と同程度の小粒になることがある。その場合には粒が分散して降るので霧雨と区別できる。
着氷性の雨 Freezing rain 過冷却の雨 Supercooled rain	∿	0℃より低温の雨である。 地面や地物又は飛行中の航空機にあたって着氷(水と 0℃の氷の混在)を起こす。

霧　　雨 Drizzle		きわめて多数の細かい水滴(直径 0.5 ㎜未満)だけがかなり一様に降る降水。粒はほとんど浮遊しているように見え、そのために空気の僅かな動きにも従うのが見える。 霧雨はかなり連続した濃い層雲から降る。この層雲は普通は低く、ときには地面に達して霧となる。特に海岸沿いや山岳地帯では、霧雨による降水量は、１時間に１㎜以上になることは少ない。
着氷性の霧雨 Freezing drizzle 過冷却の霧雨 Supercooled drizzle		0℃より低温の霧雨である。 地面や地物又は飛行中の航空機に当たって着氷(水と 0℃の氷の混在)を起こす。
雪 Snow しゅう雪 Snow shower	 	空気中の水蒸気が昇華してできた氷の結晶の降水。 雪の降り方、大きさ、結晶は雪が成長、形成される過程での状況により、かなり変化する。雪の結晶には星状、角柱状、板状、それらの組み合せや、不規則な形をしたものがある。気温が約－5℃より高いと結晶は一般に雪片化する。 過冷却した水滴が凍結してできた微少な氷の粒を少しつけたものや多少水分を含んだものもある。このような結晶が多数くっつき合って雪片(Snow flakes)をなして降ることが多いが、結晶が個々離れ離れの状態で降る単独結晶の雪もある。
み　ぞ　れ Rain and snow mixed しゅう雨性のみぞれ Shower of rain and snow mixed	 	雨と雪とが混在して降る降水。
雪 あ ら れ Snow pellets		白色で不透明な氷の粒の降水。粒は円すい状又は球状である。直径は約 5 ㎜に達することがある。この粒は、堅い地面にあたるとはずんでよく割れることがある。砕けやすく、容易につぶれる。 雪あられは、中心の氷の粒(普通は氷晶)が急速に凍った雲粒で覆われている。中心の氷晶と凍りついた雲粒との間にすき間があるので雪あられの密度は一般に小さく 0.8g・㎝$^{-3}$未満である。 雪あられの降水は､普通は地面近くの気温が 0℃に近いときに雪片とともにしゅう雨性降水として降る。
霧　　雪 Snow grains		ごく小さい白色で不透明な氷の粒の降水。粒は雪あられに似ているが、へん平な形をしているか又は細長い形をしている。その直径は一般に１㎜より小さい。 この粒は、堅い地面に当たってもはずまないし、こわれもしない。降る量は普通非常に少なく、層雲か霧から降る。しゅう雨性降水の形では降らない。気温が約－10℃～0℃の間のときに生じる霧雨に相当する。
凍　　雨 Ice pellets		透明の氷の粒の降水。粒は球状又は不規則な形でまれに円すい状である。直径は 5 ㎜未満である。凍雨は一般に高層雲か乱層雲から降る。 この粒は、普通堅い地面に当たるとはずみ、音をたてる。また容易につぶれない。凍雨は部分的には液体であってもよい。凍雨の密度は氷の密度(0.92g・㎝$^{-3}$)に近いか、あるいはそれ以上である。しゅう雨性降水としては降らない。

氷あられ Small hail	△	半透明の氷の粒の降水。粒はほとんどいつも球状で、ときに円すい状のとがりをもつ。直径は5㎜に達し、まれに5㎜を超えることがある。 この粒は簡単にはつぶれず、堅い地面に当たると、音をたててはずむ。 氷あられは全体的又は部分的に、すき間が氷或いは氷と水でみたされた単にうすい殻が凍結しただけのような雪あられでできている。このため氷あられは比較的密度が高く0.8g・cm^{-3}以上であり、まれに0.99g・cm^{-3}となることもある。 氷あられは常にしゅう雨性降水で起こる。氷あられは雪あられとひょうの中間状態であり、その部分的に滑らかな表面と高密度で雪あられと区別できる。またその大きさの小さいことからひょうと区別される。
ひょう Hail	▲	氷の小粒又は塊の降水。直径5㎜から50㎜の範囲で、ときにはそれ以上のものもある。単独に降るか又はいくつかがくっついて、不規則な塊となって降る。 ひょうは透明な氷又は透明な層(厚さ1㎜以上)と半透明な層とが交互に重なってできているものや、透明又は不透明な氷そのものもある。 ひょうは一般に強い雷電に伴って降る。
細氷 Diamond dust	⟷	晴れた空から降ってくるごく小さな氷の結晶の降水で、大気中に浮遊しているように見える。 細氷は非常によく晴れた静穏の寒い日に起きやすく、気団が急激に冷え込み、気温が－10℃未満に下がるとできる。一般には板状結晶のものが多く、その直径は約30～200μmである。 この結晶が太陽光の中ではきらきら輝いて見える、また顕著なかさ現象をしばしば見ることができる。 水平視程は激しく変動するが、その下限は1㎞以上である。
霧 Fog	≡	ごく小さな水滴が大気中に浮遊する現象。水平視程が1㎞未満の場合をいう。 十分に光があたっているときには、一つ一つの霧粒が肉眼で見分けられることがあり、そのときには霧粒がいくぶん不規則に動いているように見える。霧の中の空気は通常湿っぽく冷たく感ずる。霧の中の相対湿度は一般に100%に近い。全体としては白みがかっているが、工場地帯では煙とじんあいのため灰色又は黄色みを帯びる。 霧と煙が混じったものをスモッグ(smog)ということもある。
低い霧 Low fog	≡	目の高さの水平視程は1㎞未満であるが、天空がかすかに見えるくらいに霧が薄い場合は、低い霧という。
地霧 Shallow fog	≡	目の高さの水平視程は1㎞以上であるが、地面近くに霧がある場合は、地霧とする。
氷霧 Ice fog	≡	多数のごく小さな氷の結晶(直径約2～30μm)が大気中を浮遊する現象。水平視程を著しく減少させる。 この結晶は日がさしていると輝いて見える。氷霧に細氷が混じるとかさなどを生ずることがある。 一般に高緯度地方・山岳地方で気温－30℃以下の静穏な晴天のときに現れる。
もや Mist	=	ごく小さい水滴又は湿った吸湿性の粒子が大気中に浮遊している現象。水平視程は1㎞以上の場合をいう。 もやの中の空気は霧の中でのように湿っぽくも冷たくも感じない。もやの中の相対湿度は一般に霧の場合よりも小さく、目安としては75%以上が多いが100%になることはない。もやは一般に多少とも灰色がかっている。

地ふぶき Drifting and Blowing snow		地ふぶきは、積もった雪が吹き上げられる高さの違いにより、低い地ふぶき及び高い地ふぶきの２種類がある。
低い地ふぶき Drifting snow		積もった雪が地表から僅かの高さに吹き上げられる現象。目の高さの水平視程はほとんど減じない。雪の粒子は地表をはうように移動し、このため非常に低い地物はぼんやり見えたり隠されたりする。
高い地ふぶき Blowing snow		積もった雪が地上高く吹き上げられる現象。目の高さの水平視程は一般に非常に悪い。吹き上げられた雪はときには全天を覆い、太陽さえも隠すほどになることがある。これらの雪は絶えず風によって激しくかき回される。
ふ　ぶ　き Snow storm		高い地ふぶきと雪とが同時に起こっている現象。
し　ぶ　き Spray		広い水面、一般的には波頭から、風により水滴が吹き飛ばされる現象。水面が荒れた状態では、泡を伴うことがある。 台風、季節風など広範囲の強い風にともない発生し、視程障害を発生させた場合に記録する。
露 Dew		地面や地物などに大気中の水蒸気が凝固し水滴となって付着したもの。草や木の葉だけにできたものは除く。
凍　　露 White dew		露の粒が凍結したもの。
霜 Hoar-frost		大気中の水蒸気が昇華して、地面又は地物に付着した氷の結晶。一般にうろこ状、針状、羽状又は扇子状をしている。
霧　　氷		樹木や地物に白色ないし半透明の氷層が付着したもので、樹霜、樹氷、粗氷の３種類がある。
樹　　霜 Air hoar		おもに水蒸気の昇華によって生じた氷の結晶からなり、針状・板状・コップ状などの結晶形が明らかに認められることが多いが、凍った霧粒が混じってついていることもある。物体の風上側に生長しやすい。
樹　　氷 Rime 又は Soft rime		おもに過冷却した霧粒又は雲粒(山岳域)が、地物に吹きつけられてできた白色不透明のもろい氷で、うすい針状、又は尾びれ状の塊が集まってできている。側面に樹霜ができていることもある。弱い風の下では地物の全方向に付着する。
粗　　氷 Rime 又は Hard rime		樹氷と同じようにしてできる。半透明か、又は透明に近い氷の塊で、霧粒が大きく、気温が－2℃～－10℃の間でできやすい。また風上方向に発達する。
雨　　氷 Glaze 又は Clear ice		一般に均質で透明な氷層が地物に付着した現象。過冷却した霧雨又は雨(着氷性の霧雨又は雨)が、0℃以下又は 0℃より僅かに高い温度(過冷却でない場合は 0℃以下)の地面や地物にあたって凍結したものである。
結　　氷 Freezing		屋外にある水が凍る現象。
竜　　巻 Spout		激しいうず巻。柱状又は漏斗状の雲が積乱雲の底から、たれ下がり、海面から巻き上げられた水滴、又は地面から巻き上げられたちり、砂などが、尾のように立ち上がっている。 漏斗状の雲の軸は鉛直か又は傾いている。ときには曲がりくねっていることもある。漏斗の先が、地面又は海面からの「尾」とつながっていることが珍しくない。 竜巻の中の空気は、低気圧性に急速に回転することが多い。積雲の下に弱い竜巻が観測されることがある。

着　　氷 Ice accretion		雨、霧、海水のしぶき等が船体上部構造物に付着して凍結したものをいう。

７.１.２　　大気じん象

大気じん象は、水又は氷をほとんど含まない主として固体の粒が大気中に浮遊していたり、地面から風によって吹き上げられたりしている現象である。

大気じん象の種類と定義は第7.2表のとおりである。

第7.2表　大気じん象の種類と定義

種　　類	記号	定　　義　　解　　説
煙　　霧 Haze	∞	肉眼では見えないごく小さい乾いた粒子が、大気中に浮遊している現象。数が多いために空気が乳白色に濁って見える。 遠距離の明るい物体や光源は、煙霧を通して見ると黄色味を帯びるか赤っぽい色に見え、一方暗い物体は青色がかって見える。これはおもに煙霧の粒子による光の散乱効果である。これらの粒子はそれ自身の色をもつことがあり、その場合にはその色が景色を色づける。 煙霧の中の相対湿度は、75％未満のことが多い。
ち り 煙 霧 Dust haze	S	風によって地面から吹き上げられたちり又は小さな砂の粒子が、風じんがおさまった後まで、又は風じんの発生場所から離れた場所に、浮遊している現象。明らかに風じんによると判断された場合に限り、ちり煙霧とする。風じんによることが明らかでない場合には煙霧とする。
黄　　砂 Yellow sand	S	主として大陸の黄土地帯で吹き上げられた多量の砂じんが空中に飛揚し、天空一面を覆い、徐々に降下する現象。甚だしいときは天空が黄かっ色となり、太陽が著しく光輝を失い、雪面は色づき、地物の面には砂じんが積もったりすることもある。
煙 Smoke	∫	燃焼により生じた小さな粒子が大気中に浮遊している現象。 煙は地面近くに存在して視程を悪くすることがあり、また、上空に存在して天空を覆うこともある。 煙を通してみると、太陽は日の出時や日の入時には、非常に赤く見え、日中はだいだい色がかって見える。都市又はその近くでは、煙はかっ色、暗い灰色又は黒色になる。近くの森林の火災から広がった煙は、太陽光線を散乱させるので、空は緑がかった黄色になる。非常に遠距離にある発生地から広がり一様に分布した煙は、一般に薄い灰色がかった色か、青味がかった色である。煙が多量に存在するときは、煙は臭いによって識別できることがある。 煙の発生源が明らかに判断される場合に限り煙とする。そうでない場合は、煙霧とする。
降　　灰 Ash fall	↓	火山の爆発によって火山灰が空中に吹き上げられ、それが徐々に地面に降下する現象。

風　じ　ん Drifting and blowing dust 又は Drifting and blowing sand		ちり又は砂が、地面から吹き上げられる現象で、吹き上げられる高さの違いにより、低い風じん及び高い風じんの２種類がある。
低い風じん Drifting dust 又は Drifting sand		ちり又は砂が、地面から僅かの高さに吹き上げられる現象。目の高さの水平視程はほとんど減少しない。
高い風じん Blowing dust 又は Blowing sand		ちり又は砂が、地上高く吹き上げられる現象。目の高さの水平視程は一般に非常に悪い。
砂じん嵐 Dust storm 又は Sand storm		ちり又は砂が、空中高く、強い風のために激しく吹き上げられる現象。砂じん嵐の前面は、幅の広い高い壁が急速に進んでくるように見えることがある。この壁の後ろには積乱雲を伴うことが多い。　また、この壁は寒気の前面に雲を伴わないで発生することもある。目の高さの水平視程は非常に悪く１km未満になる。
じ　ん　旋　風 Dust whirl 又は Sand whirl (Dust devil)		地面から吹き上げられたちり又は砂が、柱状になってときにはまき散らしながら旋回している現象。柱の直径は小さく、軸はだいたい鉛直で、その高さは変動する。 じん旋風は、地面近くの空気が非常に不安定なとき、地面が日射で強く加熱されたりすると発生する。

７.１.３　　大気電気象

大気電気象は、大気中の電気現象のうち、目視又は聴音により観測される現象である。

大気電気象の種類と定義は第7.3表のとおりである。

第7.3表　大気電気象の種類と定義

種　　類	記号	定　　義　　解　　説
雷　　電 Thunderstorm		電光が見え、雷鳴が聞こえる急激な放電。雷電はしゅう雨性降水を伴う場合が多い。
電　　光 Lightning		雲と雲との間、又は雲と地面との間の急激な放電による発光現象。
雷　　鳴 Thunder		電光に伴う鋭い音又はゴロゴロとなる音。一般的に 20 km以上離れている場合音は聞こえにくい。

７.１.４　　現象の強度

現在天気、過去天気の通報及び記録に関しては、大気現象の強度も観測する必要がある。第7.4表にその強度の目安をあげる。

なお、強度0(弱い)、1(並)、2(強い)の数字は現象を書き表すときに用いる。

第 7.4 表　大　気　現　象　の　強　度

記　号	強　度 現象(注 1)	判定のてがかり	0	1	2
●	雨	降水量	瞬間強度 0.0 ㎜/h 以上～ 3.0 ㎜/h 未満	瞬間強度 3.0 ㎜/h 以上～ 15.0 ㎜/h 未満	瞬間強度 15.0 ㎜/h 以上
⍢	しゅう雨				
ᔓ	着氷性の雨 (過冷却の雨)	目視	大きな雨粒がぱらぱら降るか、多くの小さな雨粒が降る。甲板にたまる速度は小さく塊のできるのも遅い。	個々の雨粒は見分けられない。しぶきが跳ねる。すぐに水たまりができる。音はざーという音から穏やかなうなりまで。	とどろくような音をたてて甲板に降る。跳ねかえったしぶきがもやのような細かい水滴となって漂う。
●	霧雨	視程	1 ㎞以上	0.5 ㎞以上～ 1 ㎞未満	0.5 ㎞未満
ᔓ	着氷性の霧雨 (過冷却の霧雨)				
✳	雪	降水量	瞬間強度 0.0 ㎜/h 以上～1.0 ㎜/h 未満	瞬間強度 1.0 ㎜/h 以上～3.0 ㎜/h 未満	瞬間強度 3.0 ㎜/h 以上
⍢	しゅう雪	視程	概略 1 ㎞以上	概略 0.2 ㎞以上～1 ㎞未満	概略 0.2 ㎞未満
		降り方	数分間屋外に出ていると、着衣等に雪片がひととおりつく。	数分間屋外に出ていると、着衣等に雪片が一面につき地面がほとんど見えない。	数分間屋外に出ていると着衣等に雪片が積もる。
⁂	みぞれ	降水量	瞬間強度 0.0 ㎜/h 以上～ 1.0 ㎜/h 未満	瞬間強度 1.0 ㎜/h 以上～ 3.0 ㎜/h 未満	瞬間強度 3.0 ㎜/h 以上
⍢	しゅう雨性のみぞれ				
⁜	雪あられ	音	弱い	並	強い
≃	霧雪	降り方	僅かに降る	相当に降る	多量に降る
◬	凍雨	積もり方	ほとんど積もらない	いくらか積もる(短時間に、一面に薄く積もる)	見る見るうちに積もる
△	氷あられ				
▲	ひょう				
⍭	ふぶき	視程	通常 1 ㎞以上	0.5 ㎞以上～ 1 ㎞未満	0.5 ㎞未満
⍭	高い地ふぶき				
$	高い風じん				
$	砂じん嵐				
↯	雷電		雷鳴が 0 で電光を伴う	雷鳴が 1 で電光を伴う	雷鳴が 2 で電光を伴う
↯	電光	昼	ようやく認められる程度	0 と 2 の中間状態	周囲に明るさを感じる程度
		夜	楽に正視しうる程度の強さ	0 と 2 の中間状態	光輝が激しく全身に光をあびる感じ
T	雷鳴		雷鳴があるのを知る程度、通常遠雷とみとめられる程度の強さ。	0 と 2 の中間状態	雷鳴が激しく、人を驚かす。

(注 1)　低い地ふぶき・低い風じん・じん旋風は、出現の模様が観測場所によって異なるため、その地域に応じた階級を定める。

７.２　大気現象の観測及び記録

７.２.１　大気現象の観測

大気現象は、大気水象、大気じん象、大気電気象、について、次の4つの事項を観測して記録する。

(1)発現時刻

(2)現象の種類

(3)現象の状態

(4)終了時刻

記録は概略でよいが、一定の用紙にその変化を記入しておき、これにより現在天気、過去天気を判断したうえで船舶気象観測表に記入するとよい。

現象の状態は、大気現象の強度(第7.4表)及び現象の変化を目安に、第7.5表に倣い記入する。

第7.5表　現象の状態を表す記号

状態の種類	記　号	解　　説	観　測　方　法
しゅう雨性	X ▽	降水現象Xは、しゅう雨性の降水である。	しゅう雨性の判別方法は、個々の降水粒子(水又は氷)が、一様性の降水に比べて一般に大きく、急に始まり急に終わること、又は、急に、あるいは大きく変化することにより判別する。 また、降水がしゅう雨性の降水となるかどうかは、降水をもたらす雲に関係する。すなわち、しゅう雨性の降水は、対流性の雲から降るが、一様性の降水は、通常、層状の雲から降る。
強度の変化	|X	定められた観測時刻における現象Xの強度が、以前より強くなった。	定められた観測時刻の前 1 時間内における状況から判断するが、変化が見られない場合は「|」を記録しない。
	X|	定められた観測時刻における現象Xの強度が、以前より弱くなった。	
視界内	(X)	観測所にはないが、視界内(およそ5㎞未満)に、現象Xがある。	視界内の現象の有無は、目視により観測する。 現象までの距離の観測が、困難な場合は、5㎞未満としてもよい。
	)X(	観測所にはないが、視界内(およそ5㎞以上)に、現象Xがある。	
視程障害	VIS_2X	現象Xにより、水平視程が、およそ2㎞未満である。	大気現象の発現により、水平視程が左の区分に該当することを観測した場合は、該当する記号とその時刻を記録する。
	VIS_1X	現象Xにより、水平視程が、およそ1㎞未満である。	
	$VIS_{0.5}X$	現象 X により、水平視程が、およそ500m 未満である。	
	$VIS_{0.1}X$	現象 X により、水平視程が、およそ100m 未満である。	

強　　度	$X^{強度}$	現象 X の観測時における強度を表す。	第 7.4 表に示した現象の種類､区分について観測する。ただし､雷現象以外の現象は､定められた観測時刻のみの観測とする。
方　　向	$X_{(方向)}$	現象 X の方向を表す。	目視により 8 方位で観測する。 方位の確認が困難な場合は､記録しなくてもよい。
距　　離	$X_{(距離)}$	観測所から､現象 X までの距離を表す(単位はkm)。	目視又は聴音により観測(視界内現象を除く)する｡距離の観測が困難な場合は､記録しなくてもよい。
状　　況	$X_{(説明)}$	現象 X についての特記事項を表す。	観測した現象の状況を記録する必要がある場合は､目視により観測する。

(注)　X は大気現象の記号を示す。VIS は視程が 2km 未満の場合に用いる。

７.２.２　　大気現象の記録

気象庁で採用している記事の書き方を示す。ただし必ずしもこの方法によらなくてもよい。以下に簡単な例を示す。時間はいずれも協定世界時を用いている。

例1)「10時10分に雨が降り始め、12時の観測時には現象強度1(並の雨)で、11時から12時の間に傾向として強くなった。15時の観測時には現象強度0(弱い雨)、14時から15時の間には特に変化はない。その後17時30分に雨が止む。」

1010●－｜●$^{1}_{12}$－●$^{0}_{15}$－1730.

例2)「6時10分に雪が降り始め、7時20分にはみぞれとなる。7時45分には凍雨となり、8時20分に止む。」

0610✕－0720🌨－0745◬－0820.

例3)「2時30分より前に、もや発現(いつ始まったかは不明)、4時50分には霧となり、水平視程は1km未満で5時から6時にかけて霧は濃くなりつつある。」

前0230〓－0450VIS$_{1}$≡－VIS$_{1}$|≡$_{06}$－

例4)「15時05分雷鳴を聞く、強度0(弱い雷鳴)、この雷現象は活動中と判断される。15時10分には雷電があり、15時29分の雷電により本船に落雷したが被害なし。」

1505⊤^{0}－1510↯－1529↯(本船に落雷したが被害はなかった。)－

７.３　　現在天気と過去天気

天気は、現在天気と過去天気に分け、国際気象通報式のコード(符号)を用いて通報・記録する。通報コードについては「船舶気象報符号表」及び「船舶気象観測表による報告および船舶気象報通報の手引」を参照する。

また、気象庁天気種類表では一般向けなどに利用される簡単な表現の天気記号を示しており、気象庁の陸上官署ではこれも記録している。第7.6表に天気記号と船舶気象報に用いられる現在天気符号等との対応を示す。

第 7.6 表　気象庁天気種類表の天気記号と船舶気象通報式の符号(ww,N,VV)との対応

天気記号	記号	対応する船舶気象通報式の符号			
		天気符号(ww)	全雲量符号 (N:8 分雲量)	視程符号 (VV)	備　　考
快　　晴	○	00～16 18～32 36～38 40・41、76	0、1	≧94 (≧1 km) (ww=40、41 の場合を除く)	薄曇は、雲量が 9 以上であって、Ci、Cc 又は Cs が見かけ上最も多い状態。
晴	◐		2～6		
薄　　曇	◍		7・8		
曇	◎				
煙　　霧	∞	04～06	9	＜94 (＜1 km)	N 又は VV の条件を満たす。
砂じん嵐	⚶	30～35			VV の条件を満たす。
高い地ふぶき	⚵	38・39			
霧	≡	42～49			
霧　　雨	❟	50～57			
雨(注)	●	58～67、80～82、91、92			
み　ぞ　れ(注)	⛆	68・69、83・84、93・94			通報資料のみによって天気を表わす場合で、ww=93・94 のときは、暖候期は、ひょう、寒候期は、雪とする。
雪(注)	✕	70～75、77・78、85・86 93・94			
あ　ら　れ	△	79、87・88、93・94			
ひ　ょ　う	▲	89・90、93・94			
雷	↯	17、95～99			

(注)　雨、雪は必要に応じ、強い雨・しゅう雨・しゅう雪と細分して天気を表わす。この場合、強い雨はww=64、65に、しゅう雨はww=80～84、しゅう雪はww=85、86及び寒候期の93、94に対応する。

7.3.1　　現在天気(ww)

現在天気は、観測時又はその前1時間内の天気の状態を示す。大気現象や雲量に着目した天気の総合的な状態に応じて、通報式の中の「ww 現在天気」(00～99) の中から該当する符号を選んで通報・記録する。

[分類方法]

(1)　該当する大気現象があるときにはそれによって決め、それがないときは雲量によって決める。

(2)　2つ以上該当する事項があるときは、最も大きな数字の符号とする。但し符号17は符号20～49より優先する。

(3)　数字符号の最初の一字は天気のおおまかな区分を示す。

[分類の注意]

(1)　雨、雪等でしゅう雨性としゅう雨性でないものがあるときにはそれらを区別する。

(2)　霧は低い霧(空が透視できる霧)とそうでない霧(空が透視できない霧)とを区別する。

(3)　霧は視程が1km未満のときだけとる。

(4)　雷は観測時前10分以内に雷電あるいは雷鳴のある場合とし、電光のみのときはとらない。

７.３.２　　過去天気(W_1W_2)

過去天気は、観測時前6時間又は3時間の天気を現在天気との組み合わせで、できるだけ完全に大気現象を記述できるように符号を選んで記述する。天気の型がその時間内に変化したときは、現在天気(ww)で示される天気の型が始まる前に卓越していた天気を過去天気(W_1W_2)で表す。

観測時と過去天気の対象時間との関係は下表のとおりである。

第7.7表　過去天気の対象時間

観　　測　　時	過去天気の対象時間
00、06、12、18 UTC	観測時前6時間
03、09、15、21 UTC	観測時前3時間
上記以外の時刻	観測時前1時間

通報コードは、過去天気に応じて第7.8表により0～9を用いる。

第7.8表　過去天気の通報コード

W1W2	天気記号	過　去　天　気
0	◯◑	全時間を通じて、雲量が5以下である。
1	◯◑◍◎	全時間を通じて、雲量が5以下のときもあり、6以上のときもあった。
2	◑◍◎	全時間を通じて、雲量が6以上であった。
3	≦†	視程1キロメートル未満の砂じん嵐又は高い地ふぶきがあった。
4	≡≡∞	視程1キロメートル未満の霧若しくは氷霧又は視程が2キロメートル未満の濃い煙霧があった。
5	❟	霧雨があった。
6	●	雨があった。
7	✕ ⁂	雪又はみぞれがあった。
8	⛉ ⛉ ⛉ ▲	しゅう雨性の降水があった。
9	⛈	雷があった。

[分類上の注意]

符号がいくつもの数字に該当する場合は最も大きい数字符号のものをW_1で、次に大きいものをW_2で報ずる。

過去天気が1つしかないときはW_1、W_2とも同じ数字符号を報ずる。

第８章　　海面水温の観測

海面の水温を測ることは、風や気温などの大気の状態を観測することと同様に、海洋と気象との相互関連を知るために欠くことのできない要素である。気温と海面水温との差は、気層の安定度の判定、大気海洋間の熱交換量の算定などのための基礎的要素となっている。

海面水温の観測に際しては、海面下1～2m間のよく混合した海水温を測定する。海面水温の観測方法には、インテイク法、ハルコンタクトセンサー法、採水バケツ法などがあるが、高速で航行中の船上からバケツで採水して観測するのは危険を伴うので、一般船舶ではインテイク法かハルコンタクトセンサー法が用いられることが多い。

８.１　　インテイク法

機関の冷却水の温度を測るため、インテイクパイプのくぼみに温度計を差し込んだ方式で、ここで測った温度を海面水温と見なしている。

積荷によって喫水の深さが変わったり、機関室の熱気によってインテイクパイプの温度が変化したり、また、直接海水に接して測温しないなど、海面水温の観測法として問題はあるが、採水バケツ法よりも安全で、便利なので次第にこの方法が使われるようになった。

この方法で測温する場合の注意は次のとおりである。

(1)　風の弱いとき(風力3以下)や、低緯度海域では水温の鉛直方向の温度傾度が大きいので、採水バケツを併用するとよい。

(2)　停船中は船体の影響を受けたり、冷却水が循環しないので、採水バケツ法で測温する。

インテイク法で用いる電気式温度計も、気温の観測に使われるものと同様に、検定を受け、それに合格したものを使用しなければならない。

８.２　　ハルコンタクトセンサー法

船底などへ受感部を設置し指示部を船室内に置いて海水の温度を測る装置で、白金の抵抗温度係数が大きいことを利用し、電気抵抗を測定して温度に換算する。通常、増幅器の出力をメータに導いた直示型と、記録計を接続した自動記録型とがある。

感部を直接船体の外側につけるタイプ（スルーハル）と船体の内側に貼り付けるタイプ（リンペット）がある。前者の方が反応は早い。

この電気式温度計も、気温の観測に使われるものと同様に、検定を受け、それに合格したものを使用しなければならない。

8.3　採水バケツ法

採水バケツ(ズック製容量4～6リットル入り)で水をくみ上げて、それを捨て、これを三、四回繰り返した後さらにくみ上げて、その中に温度計を入れ、よくかきまわして、温度の示度が一定したところ(時間にして40秒～1分くらい)を読み取る。

三、四回くんだり捨てたりするのは、バケツの温度を海水の温度に等しくするためである。なお、海水はバケツいっぱいにくみ上げることが必要である。

バケツは断熱性の高いものがよい。容量が小さいものや断熱性の悪い素材のバケツを使用すると測定精度が落ちる。

次に水温を測る場合の注意事項を以下に述べる。

(1)　海水をくみ上げるには、機関、ちゅうぼう(厨房)その他の排水口の近くでは、船内から放出される温排水などが海水に混じる恐れがあるから、これらの場所は極力避けて、なるべく船首に近い所で採水するのがよい。

停船中の場合は、風上側の船首に近い所で採水する。

また、静穏で日射が強くごく表面だけが高温になっているような場合には、採水バケツを海中で数回上下し、海水をよくかき混ぜて測ったり、場所を変えて数回測温してみるとよい。

(2)　くみ上げた海水をそのまま放置しておくと気温や日射の影響を受けて水温が変化するから、くみ上げたら速やかに測温する。また、風の吹きさらしの所や、日射の強い所では、採水された水の温度が変化しやすいから、これらの場所を避けて測温する。

(3)　温度計を水中に入れて測温する際には、球部だけではなく管部も水中に入れ、管中の水銀糸頭を僅かに空気中に出して読み取るようにする。球部は水面から出してはならない。

示度を読み取るときは、温度計を視線に垂直に保って正視する。斜めに見上げたり、見下ろしたりしてはならない。

(4)　海面水温を測るには、棒状水銀温度計を用いる。温度計には必ず検定証書が付いているものを用い、－5℃から＋40℃くらいの範囲の、0.2℃又は0.1℃の目盛りのものを使って0.1℃まで読み取る。

温度計の取り扱いについては気温の項を参照されたい。

(5)　使用後のバケツは日陰に置くようにし、もし日陰がないときは海水を入れたままにしておいて、次回の観測に備えた方がよい。温度計は破損の恐れのない場所に保管しておく。

第９章　　波浪の観測

船舶の運航に最も大きな影響を与えるものは風と波であり、海難防止や経済運航等のために正確な波浪情報が必要であることはいうまでもない。

近年、人工衛星による波浪観測等も行われるようになってきたが、船舶による波浪観測資料の重要性は減じていない。波浪観測の通報資料は波浪の実況図及び予想図を作成する際の基礎資料となり、この放送図は船舶の運航、安全対策、沿岸海域での作業計画等に利用される。

９.１　　波浪の種類

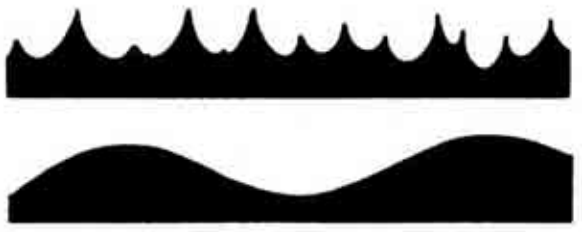
海には種々の原因によって波高・周期の異なる多くの波が発生し、このため海面は絶えず複雑な昇降を繰り返している。それらの波の中で、海面上の風に起因したものを波浪という。波浪の周期は1秒前後から30秒程度である。

波浪は、風浪とうねりに大別される。また、風浪やうねりが海岸に近づいて変形した「いそ波」や、強い海潮流にぶつかって変形した「しお波」などがある。

(1)　風浪

風浪は「観測時にその場所付近を吹く風によって直接起こされた波」であって、成長しつつある波と言える。その成長の程度は風に関する三つの要素、すなわち、風速、吹送距離(ほぼ一定の方向と強さを持った風の海面上の吹送域の長さ)、吹続時間(ほぼ一定の方向と強さを持った風が海面上の吹送域を吹き続いている時間)で定まる。

風浪の重要な特性はその不規則性である。第9.1図の上段に示すように、海面は険しい峰が連なった山脈に似ており、波の峰も長く続かずむしろ切れ切れであり、波の方向も平均的には風の方向と一致するが、これより多少(20°前後)ずれて進む波もある。発達すると波の峰の一部が砕けて白波が見られるが、さらに発達すると海面全体が白波に覆われて、ついにはしぶきのため海と大気との境が分からなくなる。



第 9.1 図　風浪（上）とうねり(下)

(2)　うねり

うねりは「観測場所付近を吹く風によって直接起こされたものでない波」であって、風浪が発生域を離れて他の静かな海面や別の風域内に伝播してきたもの、あるいは発生域で風が止んだり、風向が急変した後に減衰しながら残っている波などがこれに相当する。したがって、うねりは減衰しつつある波で、その場所の風向と異なる伝播方向をとることが多い。風浪に比べると規則性が強く、第9.1図の下段に示すように、波形はゆるやかで波頭は丸みをも

ち、波の峰も長く続いている。

9.2　波浪の観測要素

波浪の主な要素は次のとおりである。

(1)　波の向き：波が進んでくる方向。

(2)　周期：一地点を山(谷)が通過してから次の山(谷)が通過するまでの時間。

(3)　波高：波の山から谷までの鉛直距離(第9.2図のH)。

(4)　波長：波の山(谷)から山(谷)までの水平距離(第9.2図のL)。

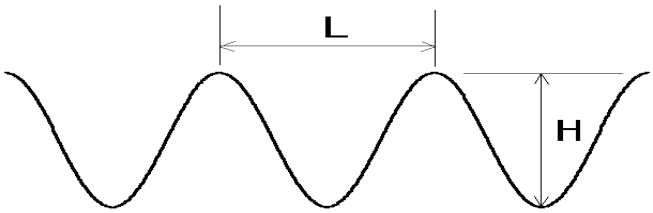
(5)　波速：波の山(谷)の進行速度、位相速度ともいう。

波速(C)、波長(L)、周期(T)の間には次の関係がある。

$$C = \frac{L}{T} \qquad (1)$$

又、水深が波長の半分よりも大きい場合(深海波)は、

$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}} \qquad (2)$$



第 9.2 図　波高（H）と波長(L)

ここでgは重力加速度である。g=9.81m/s²、π=3.14として、C[m/s]、L[m]を表すと(2)式は、

$$C = 1.25\sqrt{L} \qquad (2)'$$

となる。また、(2)’、(1)により次の関係が導かれる。ここでTは[sec]で表している。

$$C = 1.56T \qquad (3)$$

$$L = 0.64C^2 = 1.56T^2 \qquad (4)$$

$$T = 0.80\sqrt{L} = 0.64C \qquad (5)$$

ただし、これらの関係は、波高の小さい正弦波形の波(深海波)について求められたもので、複雑な海面での実測値については当てはまらない場合もある。しかし、波の各要素についての概略的な値を知るうえで便利な式である。

9.3　目視による観測

近年になって、測器による波浪観測も広く行われるようになってきたが、外洋ではまだ数が少なく、目視観測の重要性は依然として大きい。目視観測の通報資料がなければ、精度の高い波浪の実況図及び予想図、あるいは統計資料等を作成することは困難である。

波浪の目視観測は個人差もあるが、十分な訓練を積めば精度の高い観測を行うことができる。

波浪は一見、規則性の全くない現象のように見えるが、風速と風浪の波高、あるいは周期と波高との間には規則性があり、通報資料の中でそれらが矛盾している場合は、正しい観測要素も誤りとして棄てられてしまう場合があるので、正確な観測が望まれる。

9.3.1　　目視観測の方法

波浪の目視観測では波の向き、周期及び波高の3つの要素を観測する。異なる系統の波列(例えば風浪とうねり、あるいは2方向からのうねりなど)がある場合は、その各々の波列について三つの要素を観測する。比較的大きめのはっきりした波をいくつか観測し、それを平均したものを観測値とする。最も大きな波のみにとらわれないように注意しなければならない。

個々の波の周期、波向きには幅があるので、同じ波列の波を異なる波列の波として重複して通報しないように注意する必要がある。合成波高(それぞれの波高を2乗して足しあわせたものの平方根をとったもの)が過大になっていないかを見ることによって重複通報を防ぐことができる。

暗い夜など正確な観測が困難な場合には、無理な推定は避け、確かな観測要素以外は不明とする。なお、航海用レーダーに映るシークラッター(海面からの散乱波)を利用すると、波の向きや波長(周期)の観測の参考になる。

(1)　波の向き

波の向きは波の来る方向であり、36方位で観測する。それにはジャイロコンパスを用い、船から少し離れた場所の波列の向きを測定すればよい。船に近すぎると船との相対運動を見ることになって方向を誤りやすい。沖合では、風浪の向きは風向とほぼ一致するが、うねりと風浪が混在し両者の方向が異なる場合が多いので、混同しないよう注意して観測する。

(2)　周期

ストップウォッチを用いて、秒単位で観測する。測定するときは、船からできるだけ遠くの水面上の見分けやすい泡、その他の浮遊物を目標として利用する。これを目標に、波の山が通過してから次の波の山が通過するまでの時間を測定する。波の周期が常に一定の値となることはほとんどない。比較的はっきりした山と谷を持った波を選んで何回か測り、平均値を求める。

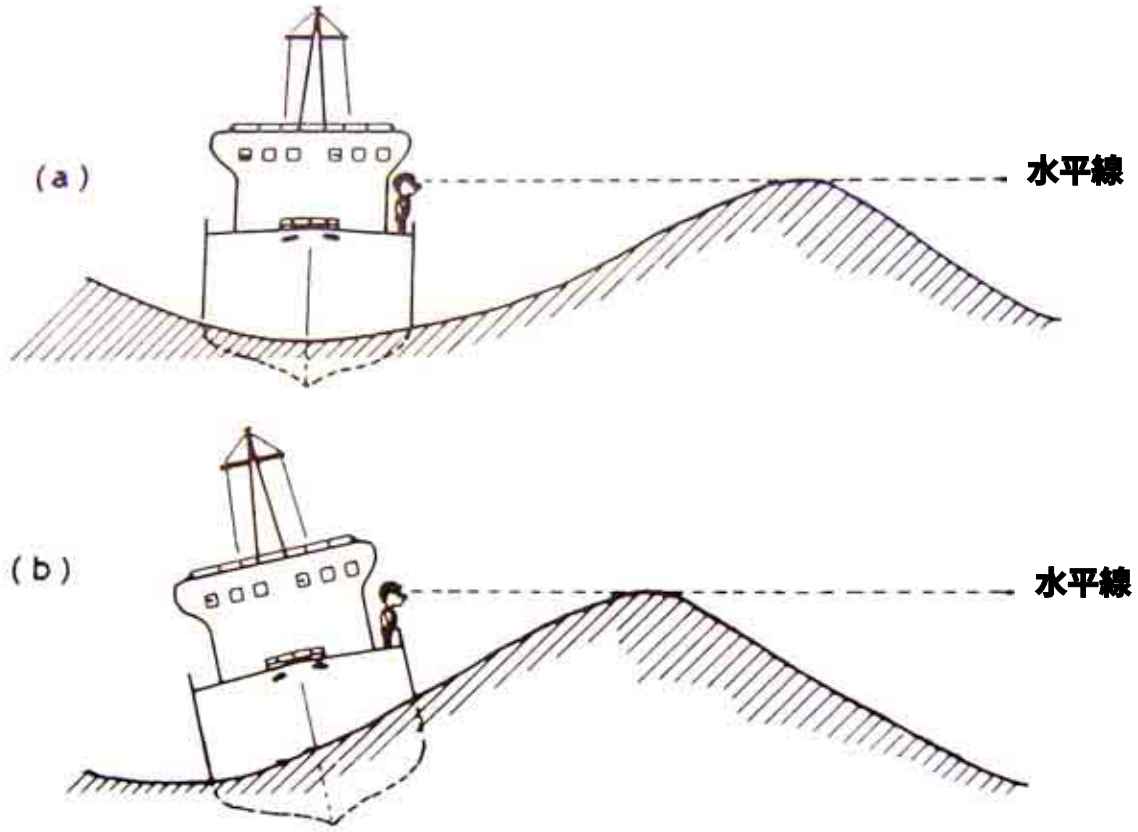
航走中には、向い波の周期は短めに取りやすい。船の長さと比較して波長を求めたり、波長と周期の関係式(9.2の(5)式)を用いて計算するのも一つの方法である。

また外洋で安定して伝播する波の波形勾配(波高と波長の比)は1/7が限界であると理論計算されている。たとえば、周期が3秒のとき深海では波長は14mとなり、波高は2メートルが限界となる。目視観測通報ではこの値を超える波が通報される場合があるが、周期を実際より短く観測したと思われるものが多い。急峻な短周期の波に目を奪われ、緩やかな波を見落としたり、あるいは長周期の別のうねりを見落としたのが原因と考えられるので注意が必要である。

(3)　波高

波高の目視観測は、船の高さなどを基準にして、正確に測れるよう経験を積む必要がある。

波が低い場合は、船のできるだけ低い位置で、ピッチングが小さくなる船の中央部の、波の来る側の舷を観測場所とし、既知の船の部分長などを基準にして観測する。波が高い場合は、ピッチングの影響のなるべく少ない場所を選び、甲板階段を昇り降りし、船が波の谷にきてロール角が0となったときに、波の山が水平線と一直線に見通し得るように目の位置を定める。そのとき、船の喫水線から目の高さまでが波高である(第9.3(a)図)。



第 9.3 図　波高の観測　(a)　正しい観測　(b)　誤った観測

満船のときと空船のときとでは同じ場所でも喫水線からの高さが違ってくるので注意が必要である。ローリングが激しい場合に、第9.3図(b)のように波高を過小に観測したり、逆に過大に観測したりすることのないようにしなくてはならない。

風浪の場合は、風速に対して起こりうる波高に上限がある(第4.1表：気象庁風力階級表)。風速に対して波高が大きすぎる場合はうねりが共存していると考えるべきである。特に風が弱まった場合に風浪の波高を過大に観測しないようにしなくてはならない。

経験の浅い観測者は、大きな波は過大に、小さな波は過小に見積りやすい。また、向い波の場合は停船時に比べて高めに、追い波の場合は低めに見積りやすい。ローリングの激しいときは、波高を過大に見積やすく、また風浪が卓越してうねりが分かりにくい海面状態では、うねりの波高を低く見積りやすい。

9.3.2　　波浪の階級

気象庁では、波浪の目視観測から簡便に海面状態を表すための、風浪及びうねりの階級を第9.1表及び第9.2表のように定めている。風浪は、その波高により第9.1表の10階級に分け、うねり

は、その波高及び波長(周期)により第9.2表の10階級に分けられている。

第9.1表　気象庁風浪階級表

風浪階級	風浪階級の説明	波の高さ(メートル)
0	鏡のようになめらかである。	
1	さざ波がある。	0　をこえて1/10 まで
2	なめらか、小波がある。	1/10 をこえて1/2　まで
3	やや波がある。	1/2　をこえて1 1/4 まで
4	かなり波がある。	1 1/4 をこえて2 1/2 まで
5	波がやや高い。	2 1/2 をこえて4　まで
6	波がかなり高い。	4　をこえて6　まで
7	相当荒れている。	6　をこえて9　まで
8	非常に荒れている。	9　をこえて14　まで
9	異常な状態。	14　をこえる

第9.2表　気象庁うねり階級表

うねり階級	うねり階級の説明
0	うねりがない。
1	短くまたは中位の } 弱いうねり(波高2m未満)
2	長く } 弱いうねり(波高2m未満)
3	短く } やや高いうねり(波高2m以上4m未満)
4	中位の } やや高いうねり(波高2m以上4m未満)
5	長く } やや高いうねり(波高2m以上4m未満)
6	短く } 高いうねり(波高4m以上)
7	中位の } 高いうねり(波高4m以上)
8	長く } 高いうねり(波高4m以上)
9	2方向以上からうねりがきて海上が混乱している場合

(注)1.「短く」とは、波長100m未満(周期8.0秒以下)の程度をいう。

2.「中位の」とは、波長100m以上200m未満(周期8.1秒から11.3秒まで)の程度をいう。

3.「長く」とは、波長200m以上(周期11.4秒以上)の程度をいう。

これらの階級表は、現在では灯台における気象観測、航海日誌等に使用されるのみで、船舶気象報、波浪予報には使われていないが、目視観測をする際の目安として参考とすることができる。また天気概況等で用いられる予報用語と波高との対応は第9.3表となっている。あわせて参考としていただきたい。

第9.3表　波浪予報の用語(気象官署予報業務実施要領第9条)

波高区分	波　高　(m)	用　語
1	0から1/10まで	おだやか
2	1/10をこえ1/2まで	おだやかなほう
3	1/2をこえ1 1/4まで	多少波がある
4	1 1/4をこえ2 1/2まで	波がやや高い
5	2 1/2をこえ4まで	波が高い(しけもよう)
6	4をこえ6まで	しける
7	6をこえ9まで	大しけ
8	9をこえる	猛烈にしける

(注) 1.　波高は有義波高

2.　括弧内は、たとえば波高区分3または4から5に変わるような場合に用いる。

９.４　測器による観測

気象庁及び大学等の研究機関の観測船の多くには舶用波浪計が搭載されており、測器を用いた波浪観測が行われている。一般船舶において用いることのできる波浪計もある。これらの測器による観測は、加速度計、水圧計、マイクロ波送受波器等を単独、あるいは組み合わせて海面の上下動を計測し、波高を計算している。

測器による観測では、有義波の波高、周期を通報する。有義波とは一連の観測で得られた個々の波を、波高の大きい順に並び替え、高い方から数えて全体の1／3の数の波について平均値をとったものである。目視観測による波高は有義波高とほぼ等しいといわれている。測器のシステムの仕様等により、観測した波全体の平均値しか得られないような場合は、有義波高は平均波高の約1.6倍であるという統計に基づき有義波高に換算したものを通報する。船が航走しながら計測した周期は、船の運動に対する相対的な周期であり、観測通報値としては不明とする。

現在のほとんどの波浪計では波向きの観測、風浪とうねりに分けた観測は不可能であるので、測器による観測・通報を行う場合でも、あわせて目視による観測・通報を行うべきである。

９.４.１　舶用波浪計等による観測

(1)　タッカー式波浪計

船体の喫水線より下方の、常に水中に没している位置に設置した水圧計により、船体に相対的な水面の上下動を計測し、同時に水圧計付近に併置した加速度計により船体そのものの上下動を計測し、両者を足しあわせることにより水面の上下動を求める。

船体が波向に対して角度がある場合は、卓越波が来る側の値を利用する。航走中は動圧により水圧計出力と波高との対応が悪くなると思われるので、船を停止させた状態で観測することが望ましい。

(2)　マイクロ波式波高計

船体の喫水線より上方に設置したマイクロ波送受波器から海面に向けてマイクロ波を放射

し、海面からの反射波を受波する事により、船体と相対的な水面の上下動を計測し、同時にマイクロ波送受波器付近に併置した加速度計により船体そのものの上下動を計測し、両者を足しあわせることにより水面の上下動を求める。マイクロ波送受波器は、航走中でも船体の影響を受けない波が計測できるよう、船首から前方に出したブームに設置するのが一般的である。

マイクロ波の代わりに超音波を利用したものもある。

(3)　船体運動計測による波浪計算

波浪中の船体運動をあらかじめ理論計算して運動応答関数を求めておき、傾斜計等により実際に船上で計測された船体運動から波浪状況を推定する方法である。船速、波向を入力として与える必要があり、また、積み荷の状況が大きく変化するような船では運動応答関数をいくつか用意しておく必要があるが、測器を設置するための船体工事を必要としない利点がある。

9.4.2　　測器の保守・点検等

船舶で用いる波浪計測機器は、精密な機器で構成されており、常に正確な観測値を得るためには定期的な保守点検を心がけなくてはならない。各機器に添付の取扱説明書の指示に従って行うこと。とくに普段手を触れることのできない水中部分がある場合はドックのときに念入りに清掃、点検を行わなければならない。

第１０章 海氷の観測

海水が凍結してできた氷を海氷という。海で見られる氷は、海氷のほか氷山のように陸でできた陸氷、湖でできた湖氷や河川でできた河氷がある。これらが浮かんでいるものを総称して浮氷という。日本近海で見られる浮氷は、ほとんど海氷であるが、北極域や南極域では広い海域で陸氷が存在する。また、海氷は海岸に定着しているか漂流しているかによって、定着氷と流氷に分けられる。

本章では、一般船舶が海氷・陸氷を認めた場合に行う観測の要領及び海氷用語とその解説を記載する。海氷用語は、WMOによって1970年に刊行された海氷用語集に準拠している。

１０.１　海氷観測

１０.１.１　　海氷観測の種目

海氷の状態は、氷域内やその付近を航行する船舶にとって、非常に重要な情報となるので、大切な観測種目である。船舶で行う海氷観測は、次の項目について目視により行う。

海氷の密接度又は配列
海氷の発達過程
陸氷の数
主要な氷の縁の方位
氷の観測時の状態と前3時間の状態の変化

観測の成果は、定められた通報形式で通報することになっている。このほか、海氷分布に関係のある大気現象などを観測した場合は、別に記録しておくとよい。

なお、通報形式については「船舶気象観測表による報告および船舶気象報通報の手引き」(別冊子)を参照のこと。

１０.１.２　　海氷の密接度又は配列(ci)

密接度は氷域内で氷塊が密集している度合いを示すもので、海氷域に対し、氷塊が占める面積の割合をいう。船上から密接度を観測する場合は、全海面が見渡せる位置で、各所に浮いている氷を一箇所に集めたとし、その面積が全海面あるいは海氷域に対して、何割に当たるかを見ればよい。

密接度は第10.1表に示すように11階級で表す。例えば密接度の階級4は4／10と書くが、これは氷塊の占める面積と、それらの間にある海水面の面積が4：6の割合になっていることを意味する。海氷域はその密接度の大小により、第10.1表のように、全密接氷域・最密氷域・密氷域・疎氷域・分離氷域に分類される。

密接度は、船から遠い海域の状態は分からないので、船の周辺海域(おおよそ0.5海里以内)の海氷について見ればよい。

密接度の観測では、新成氷などは密接度を小さく見積りやすいので注意を要する。また、視界の悪いときは、見える範囲内で密接度を観測し、無理な推定は避けるようにする。

第10.2表に、氷の密度又は配列と通報時の符号（ci）の対応を示す。

第10.1表　密接度の階級

階級	対象氷域に対する流氷の占める割合	
0	0/10	海氷なし
1	1/10	分離氷域
2	2/10	
3	3/10	
4	4/10	疎氷域
5	5/10	
6	6/10	
7	7/10	密氷域
8	8/10	
9	9/10	最密氷域
10	10/10（海水面なし）	全密接氷域

第 10.2 表　氷の密接度又は配列と通報時の符号(ci)

ci	海　氷　の　密　接　度　又　は　配　列		
0	視界内に海氷はない。		
1	船は幅1海里を超える開放水路の中にいるか、又は境界を認めることのできない定着氷の中にいる。		
2	海氷の密接度は、3/10 以下である。 (開放水面又は分離氷域の流氷)	海氷の密接度は、観測海域で一様である。	船は、氷の中又は氷の縁から 0.5 海里以内にいる。
3	海氷の密接度は、4/10 以上 6/10 以下である。 (疎氷域の流氷)		
4	海氷の密接度は、7/10 以上 8/10 以下である。 (密氷域の流氷)		
5	海氷の密接度は、9/10 以上 10/10 未満である。 (最密氷域の流氷)		
6	小氷帯と流氷原があり、間に開放水面を伴う。	海氷の密接度は、観測海域で一様でない。	
7	小氷帯と密氷域又は最密氷域の流氷原があり、間により小さな密接度の氷域を伴う。		
8	定着氷があり、その海側に開放水面、分離氷域の流氷又は疎氷域の流氷がある。		
9	定着氷があり、その海側に密氷域の流氷又は最密氷域の流氷がある。		
×	暗夜もしくは視程不良のため又は船が氷の縁から 0.5 海里を超えて離れているため報告できない。		

１０.１.３　海氷の発達過程(Si)･陸氷の数(bi)

海氷の種類については、海氷の発達・融解過程、形態(厚さ・大きさなど)、表面の特徴により海氷用語から決める。種類を決める際には、海氷の発達過程によって表面の色合いが違っているので、この点に注目するのも一つの方法である。例えば、新成氷や板状軟氷などは一年氷

のような明るさがなく、厚さが5cm以下の場合は非常に暗い灰色で、それ以上の厚さになると明るい灰色となる。一年氷は白さが増してきて、厚くなると明白色を呈するようになる。ただし、積雪の状況によって白さが異なる。

海氷の厚さは、平坦な氷の場合は割れ目などから推定できるが、起伏したり重なったりした氷は観測できないことが多い。海氷の上に積雪があった場合は、雪の層も海氷の厚さに加える。

陸氷は氷山のように陸でできた氷で、船から見える範囲内で氷山、氷岩、氷山片の個数およびその有無について観測を行う。

海氷又は陸氷の大きさを観測する場合は、遠方のものは一般に観測できないが、船に近いものについては、船の長さなどや航行距離と比較すれば、大体見積ることができる。

第10.3表に海氷の発達過程と通報時の符号(Si)を、第10.4表に陸氷の数と通報時の符号(bi)を示す。

第 10.3 表　海氷の発達過程と通報時の符号(Si)

Si	海　氷　の　発　達　過　程
0	新成氷(晶氷、グリース・アイス、雪泥及びスポンジ氷)のみある。
1	ニラス又は氷殻がある(厚さは10cm未満)。
2	板状軟氷(厚さは 10cm 以上 30cm 未満)がある。
3	大部分は新成氷又は板状軟氷であり、一部に一年氷がある。
4	大部分は薄い一年氷(厚さは 30cm 以上 70cm 未満)であり、一部に新成氷又は板状軟氷がある。
5	すべてが薄い一年氷である。
6	大部分は並の一年氷(厚さは 70cm 以上 120cm 以下)及び厚い一年氷(厚さは 120cm を超える)であり、一部にやや薄い一年氷がある。
7	すべてが並の一年氷及び厚い一年氷である。
8	大部分は並の一年氷及び厚い一年氷であり、一部に古い氷(通常厚さは 2m 以上)がある。
9	大部分が古い氷である。
×	暗夜若しくは視程不良のため、陸氷のみ見えるため又は船が氷の縁から 0.5 海里を超えて離れているため報告できない。

第 10.4 表　陸氷の数と通報時の符号(bi)

bi	陸　氷　の　数
0	陸氷はない。
1	1 個以上 5 個以下の氷山がある。氷岩又は氷山片はない。
2	6 個以上 10 個以下の氷山がある。氷岩又は氷山片はない。
3	11 個以上 20 個以下の氷山がある。氷岩又は氷山片はない。
4	1 個以上 10 個以下の氷岩及び氷山片がある。氷山はない。
5	11 個以上の氷岩及び氷山片がある。氷山はない。
6	1 個以上 5 個以下の氷山がある。氷岩及び氷山片を伴う。
7	6 個以上 10 個以下の氷山がある。氷岩及び氷山片を伴う。
8	11 個以上 20 個以下の氷山がある。氷岩及び氷山片を伴う。
9	21 個以上の氷山がある。氷岩及び氷山片を伴う。航行に重大な危険を及ぼす状態である。
×	暗夜若しくは視程不良のため又は海氷のみ見えるため報告できない。

１０.１.４　主要な氷の縁の方位(Di)

氷の縁の方位の観測は、定着氷や流氷野・流氷原・流氷帯などの、船から最も近い氷の縁について、どの方位にあるかを観測することである。いろいろな方位に氷の縁が見られるときは、航行に最も重要と思われるものをとる。

氷の縁の観測は、船舶においては、レーダーも利用できる。これまでの経験によると、海氷は3～4海里離れると、レーダーには映りにくくなり、有効範囲は2～3海里の範囲内であると言われている。第10.5表に主要な氷の縁の方向と通報時の符号(Di)を示す。

第 10.5 表　主要な氷の縁の方向と通報時の符号(Di)

Di	主　要　な　氷の縁　の　方　向
0	船は、沿岸水路又は分離帯水路の中にいる。
1	北東に氷の縁がある。
2	東に氷の縁がある。
3	南東に氷の縁がある。
4	南に氷の縁がある。
5	南西に氷の縁がある。
6	西に氷の縁がある。
7	北西に氷の縁がある。
8	北に氷の縁がある。
9	船が氷の中にいるため、氷の縁の方位が決定できない。
×	暗夜若しくは視程不良のため又は陸氷のみ見えるため報告できない。

１０.１.５　氷の観測時の状態と前 3 時間の状態の変化(zi)

氷の現在の状態と前3時間の状態の変化は、観測した船の航行に対して、氷がどのように影響しているかを見るものである。

視界内に海氷が認められる海域を航行中の場合や、氷域の中を航行あるいは氷域内に船が閉じ込められた場合は、なるべく頻繁に海氷の状態を観測し、記録しておくことが、船の安全のために必要である。第10.6表に氷の観測時の状態と前3時間の状態の変化と通報時の符号(zi)を示す。

第 10.6 表　氷の観測時の状態と前 3 時間の状態の変化(zi)

Zi	氷の観測時の状態と前 3 時間の状態の変化		
0	船は視界内に浮氷のある開放水面にいる。		
1	船は氷を容易に突き抜けることができる。氷の状態は良くなっている。		船は氷の中にいる。
2	船は氷を容易に突き抜けることができる。氷の状態は変化していない。		
3	船は氷を容易に突き抜けることができる。氷の状態は悪くなっている。		
4	船が氷を突き抜けることは困難である。氷の状態は良くなっている。		
5	船が氷を突き抜けることは困難である。氷の状態は変化していない。		
6	結氷しつつあるか、氷盤が互いに凍結しつつある。	船が氷を突き抜けることは困難である。氷の状態は悪くなっている。	
7	弱い圧迫氷がある。		
8	並又は強い圧迫氷がある。		
9	船は氷にとり囲まれて動けない。		
×	暗夜又は視程不良のため報告できない。		

１０.１.６　その他の観測

以上で述べたほか、次に述べるもののうち、船の安全のために必要と思われるものは、特殊現象記事として平文で報ずる。

海氷の移動方向及び速さについて観測する場合は、個々の氷塊を対象としないで流氷野・流氷帯のように、氷塊の集合体の移動を対象とする。しかし、氷山や氷盤岩など単独で移動する

ものは、それぞれを観測する。移動方向(進行方向)は8方位、速さはノットを用いる。船上で実際に流氷の移動を観測するには、船を止めて漂流させ、氷域内に目標を選んで適当な時間これを追跡する必要がある。したがって、航行中は漂流状況の観測は一般に困難である。

なお、航行中海氷が視界内にないときでも、海氷域に近づくと、水空や氷映などの大気現象(次節「海氷用語とその解説」参照)が見られることもあるので、氷域に近づいたと思われるときは注意を要する。

１０.２　海氷用語とその解説

１０.２.１　　海氷の種類に関する用語

発達過程の氷、融解過程の氷、定着氷の形態、流氷の形態、陸氷及び氷の表面の特徴に着目して海氷の種類を分類する。

(発達過程の氷)

(1)　新成氷(New ice)

新しくできた氷に対する総称で、晶氷、グリース・アイス、雪泥、スポンジ氷などが含まれる。この種の氷は、僅かに凍結している程度である氷の結晶からできており、浮いている場合のみ明確な形になる。

(ア)晶氷(Frazil ice)

水中を漂う微細な針状あるいは板状の氷。

(イ)グリース・アイス(Grease ice)

晶氷より後の凍結段階で、氷の結晶が集まって水面にスープ状の層を作っている。グリース・アイスは光をあまり反射しないので海面は光沢がなく見える。

(ウ)雪泥(Slush)

陸上又は氷上の水を十分含んだ雪、又は大雪後に水中を浮遊する粘りのある雪の塊。

(エ)スポンジ氷(Shuga)

直径数cmの海綿状の白い氷の集合体。グリース・アイス、雪泥、時にはいかり氷が海面に浮上してできる。

(2)　ニラス(Nilas)

薄い弾力のある氷で、波やうねりでたやすく曲げられ、強く押されると指を組み合わせたような形になる。表面は光沢がなく厚さは10cm未満、暗いニラスと明るいニラスとに分けられる。

(ア)暗いニラス(Dark nilas)

厚さ5cm未満の非常に暗い色のニラス。

(イ)明るいニラス(Light nilas)

厚さ5cmより厚いニラスで暗いニラスよりかなり明るい色をしている。

(ウ)氷殻(Ice rind)

穏やかな海面で直接結氷するか、又はグリース・アイスから形成されるもろくて輝いた表面の硬い氷。通常塩分の低い水にできる。厚さはおよそ5cm、風やうねりによってたやすく割れ、よく長方形の氷片になる。

(3)　はす葉氷(Pancake ice)(→流氷の形態)

(4)　板状軟氷(Young ice)

ニラスから一年氷への移行の段階で、厚さは10～30cmの氷、薄い板状軟氷と厚い板状軟氷とに分けられる。

(ア)薄い板状軟氷(Grey ice)

厚さ10～15cmの板状軟氷で灰色を呈し、ニラスより弾力がなく、うねりによって割れる。通常は圧力によって積み重なる。

(イ)厚い板状軟氷(Grey-white ice)

厚さ15～30cmの板状軟氷で灰白色を呈し、圧力によって積み重なるよりも隆起することが多い。

(5)　一年氷(First-year ice)

板状軟氷から発達し、一冬を越えない海氷で厚さ30cm～2m、薄い一年氷(白い氷)、並の一年氷、厚い一年氷に分類される。

(ア)薄い一年氷(白い氷)(Thin first-year ice/White ice)

厚さ30～70cmの一年氷。第1段階(first stage)厚さ30～50cmと、第2段階(second stage)厚さ50～70cmに分けられる。

(イ)並の一年氷(Medium first-year ice)

厚さ70～120cmの一年氷。

(ウ)厚い一年氷(Thick first-year ice)

厚さ120cmを超える一年氷。

(6)　古い氷(Old ice)

少なくとも一夏はとけずに残っている氷。厚さ3m以上。一年氷より滑らかになっている。二年氷(Second-year ice)と多年氷(Multi-year ice)に分類される。

(融解過程の氷)

(1)　パドル(Puddle)

氷上にとけた水がたまったもので、主に積雪の融解によるものであるが、さらに進んだ段階では氷自身の融解にもよる。初期の段階では融雪の斑点ができる。

(2)　底無しパドル(Thaw holes)

パドルが海氷の下の海水まで突き抜けた時に形成される海氷中の鉛直の穴。

(3)　かわき氷(Dried ice)

クラックや底無しパドルができて、たまっていたとけた水が表面から流れ去った後の氷。乾燥している間、表面は白みがかっている。

(4)　はちの巣氷(Rotten ice)

はちの巣状になった崩壊の進んだ海氷。

(5)　浸水氷(Flooded ice)

融水や河の水が染み込み、水や湿った雪で重くなった海氷。

(定着氷の形態)

(1)　定着氷(Fast ice)

沿岸に形成され定着している海氷。海岸、氷河壁、浮氷壁に接して定着している。また、

浅瀬の間や座礁している氷山の間に張っている。水位の変化で垂直な上下動が見られる。定着氷はその場の海水が凍結するか、流氷が海岸に凍結して形成される。幅は海岸から数mから数100kmに達する。定着氷は一年以上存在するものは存在年によって分類される(古い、二年、多年)。もしその厚さが海面上2m以上になれば棚氷という。

(ア)初期沿岸氷(Young coastal ice)

ニラスや板状軟氷からなる定着氷の初期の段階で、その幅は海岸線より数mから約200mまでに及ぶ。

(イ)氷脚(Icefoot)

沿岸に付着した狭く長い氷で、潮汐によって動かされることもなく、定着氷が動き去った後も残っている部分。

(ウ)いかり氷(Anchor ice)

海底に付着又は固着している水中の氷。

(流氷の形態)

(1)　流氷(Drift ice/Pack ice*)

定着氷以外のすべての海氷を含める広義の用語で、形態に関係しない。なお英語では密接度が7／10以上の場合には、Drift iceの代わりにPack iceを用いてもよい。

*以前はすべての密接度の流氷にPack iceが用いられた。

(2)　はす葉氷(Pancake ice)

互いにぶつかり合って縁がまくれ上がったほぼ円形の氷塊。直径30cm～3m、厚さは約10cmになる。グリース・アイス、雪泥、スポンジ氷などから弱いうねりでできたり、氷穀やニラスが壊れてできる。また、波やうねりの激しいときは薄い板状軟氷が壊れてできる。また、ある深さで物理的性質の異なった水塊間の境界面でできて表面に浮いてくることがあり、急速に広い海面を覆う。

(3)　氷盤(Floe)

直径が20m以上の比較的平らな海氷塊で、次のように分類される。

(ア)巨大氷盤(Floe giant)

直径10km以上。

(イ)巨氷盤(Floe vast)

直径2km～10km。

(ウ)大氷盤(Floe big)

直径500m～2,000m。

(エ)中氷盤(Floe medium)

直径100m～500m。

(オ)小氷盤(Floe small)

直径20m～100m。

(4)　板氷(Ice cake)

直径が20m未満の比較的平らな海氷。

(ア)小板氷(Small ice cake)

直径が2m未満の板氷。

(5)　氷盤岩(Floeberg)

一つの氷丘又はいくつかの氷丘が凍りついてできた大きな海氷塊で、周囲の海氷と離れている。代表的なものは海面上5mに及ぶ。

(ア)氷盤片(Floebit)

比較的小さな海氷塊で、通常は直径10m以下、氷丘や互いに凍りついた氷脈からできており、周囲の海氷と離れている。代表的なものは海面上2mに及ぶ。

(6)　モザイク氷(Ice breccia)

いろいろな発達過程の氷が一緒に凍結している氷塊。

(7)　砕け氷(Brash ice)

直径2m以下の氷片で、さまざまな形に砕けた浮氷が集まっているもの。

(陸氷－陸で作られた氷)

(1)　氷河氷(Glacier ice)

氷河の中、又は氷河からできた氷。陸上にあるか又は氷山、氷山片、氷岩のように海に浮いているかは問わない。

(2)　棚氷(Ice shelf)

海面上2～50m又はそれ以上の高さがあり、かなりの厚さの海岸に固着し浮いている氷床。通常水平方向に大きく広がり、表面は平らか緩やかな起伏をしている。積雪と、ときには陸上の氷河が海へ張り出すことによってできる。氷は一部は海底に着いていることもある。海側のへりは浮氷壁(Ice front)と呼ばれる。

(3)　陸氷の分離したもの(Calved ice of land origin)

(ア)氷山(Iceberg)

氷河から割れてできた海面上5mより高く突き出ている様々な形の大きな氷塊で、浮いているか座礁している。氷山には卓状型、ドーム型、傾斜型、せん塔型、風化型又は氷河氷山がある。

(イ)氷河氷山(Glacier berg)

不規則な形をした氷山。

(ウ)卓状氷山(Tabular berg)

頂上が平らな氷山。多くは棚氷から割れてでき、水平なしまが見られる。

(エ)氷山舌(Iceberg tongue)

海岸から張り出している氷山群の大集合域で座礁したり定着氷で連結されていたりする。

(オ)氷島(Ice island)

北極の棚氷が割れた海面上約5mの高さがある大きな浮氷で、厚さ30～50m、面積は数1,000m^2～500km^{2}又はそれ以上、通常、表面は規則的な起伏があり、航空機から見るとろっ骨状に見える。

(カ)氷山片(Bergy bit)

浮いている氷河氷の大きな氷片で、通常、海面上の高さは1mを超え5m未満で、面積は約100m^2～300m^{2}である。

(キ)氷岩(Growler)

氷山片や氷盤岩より小さな氷塊で、ほとんど白く見えるが、しばしば透明又は青緑色に見えたりする。海面上の高さは1m未満で、通常、面積は約20m^{2}である。

(氷の表面の特徴)

(1)　平たん氷(Level ice)

変形を受けていない海氷。

(2)　変形氷(Deformed ice)

互いに押し合い所によっては押し上げ又は押し下げられたりしている氷の総称で、いかだ氷、氷脈氷、氷丘氷に分けられる。

(ア)いかだ氷(Rafted ice)

氷塊が互いに重なりあっている変形氷の一種。

(イ)氷脈(Ridge)

圧力によって押し上げられた、壊れた氷の線状あるいは壁状の部分。新しいものと風化したものとがある。圧力によって押し下げられた氷脈の下の水中の部分はりゅう骨氷という。

(ウ)氷脈氷(Ridged ice)

氷片が不規則に積み重なりあって山脈状や壁状になった氷。通常一年氷に見られる。

(エ)氷丘(Hummock)

圧力によって押し上げられ壊れた氷の丘。新しいものと風化したものとがある。圧力によって押し下げられた氷丘の下の水中の部分をさかさ氷丘という。

(オ)氷丘氷(Hummocked ice)

氷片が不規則に積み重なった起伏のある海氷。風化するとなだらかな丘になる。

(3)　はだか氷(Bare ice)

積雪のない氷。

(4)　冠雪氷(Snow-covered ice)

雪をかぶった氷。

１０.２.２　海氷の分布状態などに関係のある用語

(密接度等)

(1)　密接度(Concentration)

ある氷域に対し、その中の氷に覆われている海表面の占める割合を10分位法で表したものをいう(氷域内で氷が密集している度合いを示す)。氷域内のすべての発達過程の氷を対象とした場合を全体密接度(Total concentration)、特定の発達過程又は特定の形態の氷を対象とした場合を部分密接度(Partial concentration)という。

(ア)全密接氷域(Compact ice)

密接度10/10で、海水面が全く見られない氷域。

(イ)凍結密氷域(Consolidated ice)

密接度10/10で、氷盤が互いに凍りついている氷域。

(ウ)最密氷域(Very close ice)

密接度9/10～＜10/10の氷域。

(エ)密氷域(Close ice)

密接度7/10～8/10で、氷盤の集まりからなる氷域。氷盤はだいたい接触している。

(オ)疎氷域(Open ice)

密接度4/10～6/10で、多くの水路や氷湖がある氷域。氷盤は通常接触していない。

(カ)分離氷域(Very open ice)

密接度1/10～3/10で、氷より水面の方がはるかに多い氷域。

(キ)開放水面(Open water)

航行可能な広い海域で、海氷があっても密接度1/10未満で、陸氷はない。

(ク)氷山海面(Bergy water)

航行可能な海域で、陸氷は密接度1/10未満で海氷があっても全体密接度が1/10を超えない。

(コ)無氷海面(Ice-free)

氷が全くない海面。氷があればこの用語は使用しない。

(海氷の配列)

(1)　流氷野(Ice field)

いろいろな大きさの氷盤群からなる流氷域で直径は10kmより大きいもの。なお、直径10km未満のものを流氷原(Ice patch)という。

(ア)大流氷野(Large ice field)

直径20kmを超える。

(イ)中流氷野(Medium ice field)

直径15～20km。

(ウ)小流氷野(Small ice field)

直径10～15km。

(2)　流氷帯(Belt)

幅1kmから100km以上に及ぶ長く大きな流氷の帯。

(3)　氷舌(Tongue)

風や海流によって氷の縁が数km張り出したもの。

(4)　小氷帯(Strip)

幅が約1km以下で通常流氷の本体から分離した小氷片からなる細長い流氷帯。風、うねりあるいは海流の作用で寄り集まって漂流する。

(5)　入江(Bight)

氷の縁の中で広く三日月状に入り込んだ部分。風や海流によってできる。

(6)　アイス・ジャム(Ice jam)

狭い海峡や水道などで、砕けた河氷や海氷が詰まった状態。

(7)　氷の縁(Ice edge)

さまざまな形の海氷と開放水面との任意の時刻における境界。定着しているか漂流しているかを問わない。密な氷の縁と拡散した氷の縁とに分けられる。

(8)　氷域境界(Ice boundary)

任意の時刻における、定着氷と流氷との境界又は異なった密接度の流氷域の境界。

(氷域中の海水面)

(1)　割れ目(Fracture)

変形作用の結果、最密氷域、全密接氷域、凍結密氷域、定着氷、又は単独の氷盤に起こる

切れ目や裂け目。割れ目には砕け氷があり、ニラスや板状軟氷が張りつめていることもある。長さ数mから数kmに及ぶものもある。

(ア)クラック(Crack)

定着氷、凍結密氷域又は単独の氷盤に起こる幅数cm～1mの割れ目で、これにより氷が分離することがある。

(イ)タイド・クラック(Tide crack)

動かない氷脚又は氷河壁と定着氷との接合部にあるクラックで、定着氷は潮汐によって上下する。

(ウ)分離帯(Flaw)

流氷と定着氷との間の狭い分離帯で、その中は氷片が混乱した状態になっている。強風や海流によって氷域境界に沿って流氷が切り取られてできている。

(エ)微小割れ目(Very small fracture)

幅1～50m。

(オ)小割れ目(Small fracture)

幅50～200m。

(カ)中割れ目(Medium fracture)

幅200～500m。

(キ)大割れ目(Large fracture)

幅500mを超える。

(2)　割れ目域(Fracture zone)

多数の割れ目のあるところ。

(3)　水路(Lead)

海氷域の中で、航行可能な割れ目又は通路。

(ア)沿岸水路(Shore lead)

流氷と海岸、あるいは流氷と浮氷壁との間の水路。

(イ)分離帯水路(Flaw lead)

流氷と定着氷との間の航行可能な水路。

(4)　氷湖(Polynya)

氷で囲まれた直線的でない開水面。氷湖には砕け氷があり、新成氷、ニラス、板状軟氷で覆われていてもよい。

(ア)沿岸氷湖(Shore polynya)

流氷と海岸、あるいは流氷と浮氷壁との間の氷湖。

(イ)分離帯氷湖(Flaw polynya)

流氷と定着氷との間の氷湖。

(ウ)再現氷湖(Recurring polynya)

毎年同じ場所に現れる氷湖。

(海氷に関係する大気中の現象)

(1)　水空(Water sky)

低い雲の下面の暗いしまで、海氷域付近に海水面があることを示している。

(2)　氷映(Ice blink)

遠方にある氷の集団の上の低い雲が白っぽく輝いて見える現象。

(3)　氷煙(Frost smoke)

氷域中の開水面や氷の縁の風下に現れる霧で、氷上を移動してきた寒気が、それより暖かい水面に接して生じたもので、氷が張るまで持続する。

(4)　幻氷(Mirage of ice)

水温が異常に低いときなどに起こる、水平線付近の氷が浮かび上がって見える一種のしんき楼現象である。

１０.２.３　船舶の航行に関係のある用語

(1)　ビセット(Beset)

船が氷に取り囲まれ動けない状態。

(2)　氷塞(Ice-bound)

湾や入江などが氷のために船の航行が妨げられるときにいう。ただし、砕氷船の援助の可能性があればこの用語は使用しない。

(3)　ニップ(Nip)

氷が船を強く押し付けた状態。氷に挟まれている船が損害を受けていなくてもニップを受けているという。

(4)　圧迫氷(Ice under pressure)

変形作用が活発に行われている氷で、そのため航行の障害や危険が起こる恐れがある。

(5)　難航氷域(Difficult area)

ある海域で航行が困難なほど厳しい状態が卓越している氷域。一般に船の大きさ、機能などにより定性的に表現する。

(6)　可航氷域(Easy area)

ある海域で航行が困難でない状態が卓越している氷域。一般に船の大きさ、機能などにより定性的に表現する。

(7)　アイス・ポート(Ice port)

浮氷壁に入りこんで形成された湾で、多くの場合一時的なもの。アイス・ポートでは船を横付けして直接棚氷の上に荷揚げできる。

第１１章 船舶の着氷の観測

水滴が物体に付着凍結してできた氷や、大気中の水蒸気が物体に付着凝固してできた氷、又はこれらの現象を着氷という。船舶の着氷は、海上を航行する船舶の上部構造物等に着氷が起こることであるが、通常これを船体着氷といっている。船体着氷が激しくなると、アンテナが切れて通信不能となったり、氷の重みで船体の復元力が著しく低下して、ときには転覆事故に結びつくことがある。したがって、船体着氷の観測は船の安全の上からも、重要なものである。

船体着氷が認められた場合は、定められた通報形式により通報する。通報の内容は、着氷の種類、着氷の厚さ、着氷の速度の3項目となっている。通報形式については「船舶気象報符号表」あるいは「船舶気象観測表による報告および船舶気象報通報の手引き」(別冊子)を参照のこと。

１１.１　船舶の着氷(船体着氷)

船体着氷は、その発生原因から見て次の三つの場合がある。

(1)　海水のしぶきが凍りついたもの。

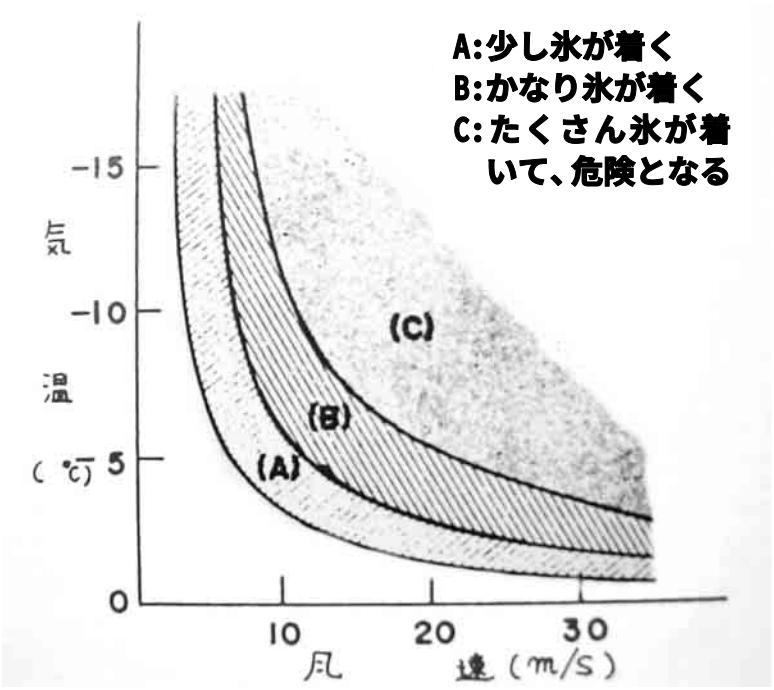
(2)　過冷却した霧粒や雨滴などが凍りついたもの。

(3)　雪が付着したもの。

このうち、(3)による着氷は風で吹き飛ばされることが多く、また(2)による着氷は発生頻度が少ないといわれている。このため(2)、(3)の原因のみによって、着氷が大きく発達することはなく、船体着氷の原因として重要なものは、(1)の船上に打ち上げられた海水のしぶきが凍りつくことによる着氷である。また、海水が甲板を洗うような状態のときに、甲板の排水が良くないと急に氷が発生し、特に既に着氷がある場合はこれを急成長させる。このため、海水が甲板上にあふれることを原因の一つに加えることもある。

船体着氷が発生する気象条件は、主にそのときの風(風向・風速)、気温、海面水温及び波浪(風浪・うねり)であるが、発生状況は船の大小や構造によって異なるし、また、風や波に対する相対的な船の進行方向や、船速、又は積荷の状態によっても異なる。しかし、北西太平洋における着氷の調査によると、この海域における着氷と気象との関係は、おおむね次のようである。

海面水温4℃以下の海域であれば、気温が－3℃、風速が8m/sに達すると着氷が始まり、気温が－6℃以下、風速が10m/sを超えると強い着氷(1時間に2cm以上の成長速度)が起こってくる。海面水温2℃以下の海域では気温が－2℃まで下がると着氷が始まる。気温と風速及び着氷の強さとのおおよその関係は第11.1図で示される。ただし、気温が－17℃以下に下がると、海水のしぶきは船体に衝突する以前に凍って、逆に着氷速度がにぶる。海面水温が4℃以下の海域で、今後強い着氷の起こるような低温と強風が予想される場合は、船体着氷による災害の発生する可能性があるので、十分な注意が必要である。



第 11.1 図　気温と風速による着氷

１１.２　着氷の状態の観測

１１.２.１　　船舶の着氷の種類(Is)

着氷の種類は、次の5種類に分けられる。

第11.1表　着氷の種類

着氷の種類	Is
海水のしぶきによる着氷	1
霧による着氷	2
海水のしぶき及び霧による着氷	3
雨による着氷	4
海水のしぶき及び雨による着氷	5

これらは観測時の天気及び過去の天気によって決める。

１１.２.２　　船舶の着氷の厚さ(EsEs)

着氷の厚さはcm単位で測る。この場合、船体のどこの、どの部分の厚さをとるかが問題になるが、舷側や甲板上の構造物で、最も厚く着氷しているところを対象とすればよい。ただし、しぶきや海水などが次々にかかって、下方に伸びているようなところは厚さにいれない。

１１.２.３　船舶の着氷の速度(Rs)

着氷の速度は、3時間前の着氷の厚さと観測時の厚さとを比較して、次のように5段階に分ける。

第11.2表　着氷の速度

着氷の速度	Rs
着氷は進行していない。	0
ゆるやかに着氷	1
急速に着氷	2
氷はゆるやかにとけ、又は崩壊している。	3
氷は急速にとけ、又は崩壊している。	4

すなわち、着氷が進行している状態か、あるいはとけて(又は崩壊して)いる状態かを、ゆるやかと急速に分けて観測することになる。ゆるやかと急速との区別は、前3時間と比較して、その差が5cm未満か5cm以上かを目安にすればよい。着氷の進行速度が特に大きくなった場合は、危険防止の対策の上からも、なるべく観測回数を多くすることが望ましい。

なお、WMOでは着氷の進行状況を次のように分類しているので、参考として記しておく。

着氷の進行状況	3時間前からの厚さの増加量
ゆるやか	＜　1cm
普通	1cm～ 5cm
激しい	6cm～12cm
非常に激しい	＞12cm

これらの観測項目のほか、着氷時の気象・海象なども一緒に記録しておくと、後で役に立つことが多い。

第１２章 気象測器の検定及び点検

正確な気象の観測を維持していくためには、これまでの章で述べてきたように測器をきちんと扱い、正確な読み取りを行うことが必要であるが、これとともに重要なのが測器の選定と保守点検である。

第13章で述べるように、防災や気象通報等の目的で行う気象観測に用いる測器は、検定に合格したものでなければならないと気象業務法で規定されている。船舶に備え付ける測器もこれに該当しており、検定合格品を選定する必要がある。

測器の選定に当たり、船舶用アネロイド型気圧計のように船舶用の測器として製作されているものがあるときは、それらを整備した方が振動等の影響による故障や経年変化が少なく、故障による修理や欠測等を考え合わせると、かえって負担が少ないと考えられる。

常に動揺や振動等にさらされている船舶は測器にとって厳しい環境にあり、特に屋外に設置されている風向風速計、温度計、湿度計等は、塩分や多湿の影響で測器が劣化しやすい状況にある。室内に置かれた測器でも振動や湿度の影響を受けやすい。したがって、運用に当たっては、定期的に検定を受けるほか日常の保守点検が必要である。

１２.１　気象測器の検定

船舶の航行安全には観測データの精度を確保することが必要であり、船舶が気象観測で使用する温度計、気圧計、湿度計、風速計等については、検定が義務づけられている。検定は、気象庁長官の登録を受けた「登録検定機関」(第12.1表に示す)で行う。また、型式証明を受けた型式の気象測器については、気象庁長官が検査能力を認めた「認定測定者」が器差の測定を行い、その測定結果報告書を登録検定機関に提出して書類審査で検定を受けることができる。認定測定者の一覧は、気象庁ホームページ(http://www.jma.go.jp/jma/kishou/shinsei/kentei/index.html)に掲載されている。

第12.1表　登録検定機関

機関名	連絡先
一般財団法人気象業務支援センター	〒101－0054　東京都千代田区神田錦町三丁目 17 番地(東ネンビル) 電話　03－5281－0440(代表) http://www.jmbsc.or.jp/

検定では構造検査と器差検査を実施する。構造検査の合格の基準は、気象測器の種類に応じて、材料、部品及びその組合せ、目盛若しくは数字表示、表記、性能について、一定の基準に適合することが必要となる。また、器差検査の合格の基準は、気象測器の種類に応じて、個別の器差、較差又は極差について一定の基準(検定公差)を超えないことが必要である。なお、型

式証明を受けた型式の測器は構造検査を省略できる。

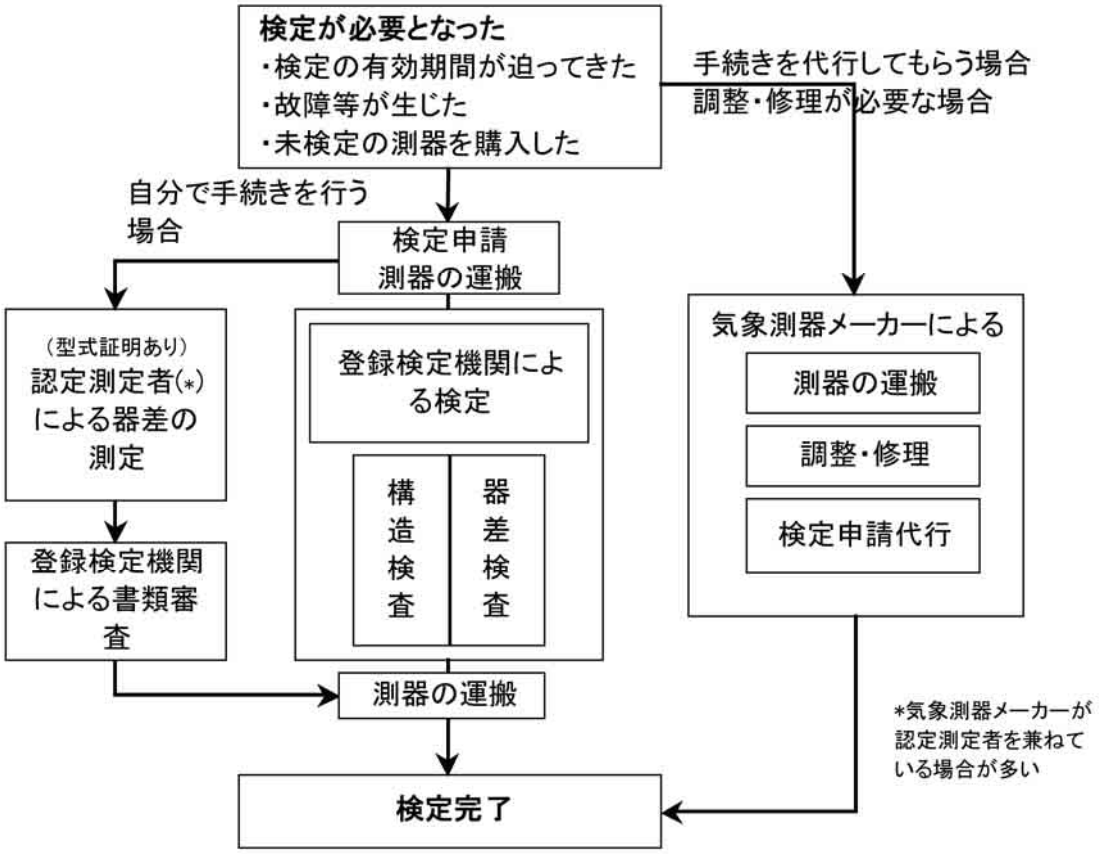
船舶で使用する気象測器の検定有効期間は、電気式気圧計が10年、アネロイド型気圧計及び風速計が5年で、温度計、湿度計は有効期間が定められていない。

検定に合格すると、検定証書が発行され、測器には第12.2表に示す検定証印が附される。

第 12.2 表　検定証印の形状

形状	寸法	備考
	直径5ミリメートル以上8ミリメートル以下	形状において、その中の数字は、西暦年数の 10 位以下を表すものとする。

検定を受けるのに必要な手続きなどは、登録検定機関が定めて気象庁長官へ届け出る事項となっており、最新の情報は気象庁ホームページ（http://www.jma.go.jp/jma/kishou/shinsei/kentei/index.html）に掲載される。検定の実施手続きの流れを、以下に示す。



第 12.1 図　検定実施手続きの流れ

気象測器メーカーに検定の代行を依頼すると、測器の運搬、検定機関への事務手続きの代行、必要であれば測器の調整が行われる。船舶の運航上、検定を受けることが時間的に困難な場合も考えられるため、気象庁では検定期間中気圧計の貸出を行っている。気圧計の貸出しについては第12.3表に示す気象官署に照会していただきたい。

第12.3表　気圧計貸与機関一覧

機関名	連絡先
横浜地方気象台	〒231-0862 神奈川県横浜市中区山手町 99
名古屋地方気象台	〒464-0039 愛知県名古屋市千種区日和町 2-18
神戸地方気象台	〒651-0073 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通 1-4-3　神戸防災合同庁舎内
札幌管区気象台 地球環境・海洋課	〒060-0002 北海道札幌市中央区北２条西 18-2
仙台管区気象台 地球環境・海洋課	〒983-0842 宮城県仙台市宮城野区五輪 1-3-15　仙台第３合同庁舎
大阪管区気象台 地球環境・海洋課	〒540-0008 大阪府大阪市中央区大手前 4-1-76　大阪合同庁舎第４号館
福岡管区気象台 地球環境・海洋課	〒810-0052 福岡県福岡市中央区大濠 1-2-36
沖縄気象台 地球環境・海洋課	〒900-8517 沖縄県那覇市樋川 1-15-15　那覇第一地方合同庁舎

１２.２　港湾気象官等による点検

１２.２.１　　港湾気象官の制度

広大な海上における気象観測データは、天気図の作成や海上の予報・警報の発表等に欠かすことのできないものであるが、海上のデータの大部分は商船等の一般船舶による観測に依存している。港湾気象官(PMO: Port Meteorological Officer)は、一般船舶に対する気象観測通報の奨励や船舶が行う気象観測の精度の維持・向上を図るとともに、船舶に対する気象サービスの充実に関する国際的な協力体制を確立するために、国連の専門機関の一つである世界気象機関（WMO）の勧告に基づいて、世界の主要港湾に配置されている。我が国では神戸、名古屋及び横浜の各地方気象台に、それぞれの港を対象に港湾気象官が配置されている。

港湾気象官の業務の内容は、ほぼ世界共通で下記のとおりであり、港湾気象官のこれらのサービスは無料である。

(1)　気圧計を中心に船舶に備え付けられている気象測器を点検して、必要な助言を行う。

(2)　気象や海洋に関すること、特に海上気象観測及び通報に関する質問や照会に応じて、助言や指導を行う。

(3)　観測指針や気象観測表、気象報符号表等の解説を行い、要求があれば提供も行う。

(4)　気象機関が船舶向けに放送している無線ファクシミリの放送スケジュール、その利用方法等の解説を行う。

これらの業務はほとんどの場合、港に停泊中の船舶を訪問(訪船)して行われる。このように港湾気象官は、一般船舶に対し陸上の気象機関の窓口の役割を担っている。なお、我が国では

横浜、名古屋、神戸のほかに札幌、仙台、大阪、福岡の各管区気象台、沖縄気象台及び気象庁本庁でもサービスを行っている。次表に、日本の港湾気象業務を行う官署一覧を示す。

第12.4表　港湾気象業務担当官署一覧

官署名	連絡先	備考
横浜地方気象台	〒231-0862 神奈川県横浜市中区山手町99 ﾌｧｯｸｽ 045-622-3520 電話 045-621-1991 E-mail pmo@climar.kishou.go.jp（注）	港湾気象官配置
名古屋地方気象台	〒464-0039 愛知県名古屋市千種区日和町2-18 ﾌｧｯｸｽ 052-762-1242 電話 052-752-6364 E-mail pmo@climar.kishou.go.jp（注）	港湾気象官配置
神戸地方気象台	〒651-0073 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通1-4-3 神戸防災合同庁舎内 ﾌｧｯｸｽ 078-222-8946 電話 078-222-8918 E-mail pmo@climar.kishou.go.jp（注）	港湾気象官配置
札幌管区気象台 地球環境・海洋課	〒060-0002 北海道札幌市中央区北２条西 18-2 ﾌｧｯｸｽ 011-611-3206 電話 011-611-6174 E-mail pmo@climar.kishou.go.jp（注）	
仙台管区気象台 地球環境・海洋課	〒983-0842 宮城県仙台市宮城野区五輪 1-3-15 仙台第３合同庁舎 ﾌｧｯｸｽ 022-291-8110 電話 022-297-8107 E-mail pmo@climar.kishou.go.jp（注）	
大阪管区気象台 地球環境・海洋課	〒540-0008 大阪府大阪市中央区大手前 4-1-76 大阪合同庁舎第４号館 ﾌｧｯｸｽ 電話共通 06-6949-6160 E-mail pmo@climar.kishou.go.jp（注）	
福岡管区気象台 地球環境・海洋課	〒810-0052 福岡県福岡市中央区大濠 1-2-36 ﾌｧｯｸｽ 092-761-1726 電話 092-725-3613 E-mail pmo@climar.kishou.go.jp（注）	
沖縄気象台 地球環境・海洋課	〒900-8517 沖縄県那覇市樋川 1-15-15 那覇第一地方合同庁舎 ﾌｧｯｸｽ 098-833-4292 電話 098-833-4065 E-mail pmo@climar.kishou.go.jp（注）	
気象庁 地球環境・海洋部 海洋気象課	〒100-8122 東京都千代田区大手町 1-3-4 ﾌｧｯｸｽ 03-3211-6908 電話 03-3212-8341(内線 5144) E-mail vos@climar.kishou.go.jp	ホームページ「船舶気象観測・通報のページ」 (http://marine.kishou.go.jp/)を開設

（注）港湾気象業務担当官のメールアドレス(pmo@climar.kishou.go.jp)は8官署共通。

１２.２.２　港湾気象官の訪船点検

船舶に備え付けられているアネロイド型気圧計は、陸上と異なり振動や動揺のある厳しい環境におかれているので、前節で述べた検定の有効期間内であっても少なくとも年に2回は港湾気象官の訪船により比較点検することが望ましい。

港湾気象官は比較点検用の基準気圧計を持って港に停泊している船舶を訪船する。

訪船する船舶は、国際観測通報船舶*(脚注を参照)としての登録種別、船舶の国籍又は登録国、前回の気圧計点検時期等を考慮して選択されるが、船舶からの要望による訪船もある。

港湾気象官の訪船点検を受けた気圧計には、第12.2図に示す「アネロイド型気圧計比較点検票」が気圧計の適当な部分に貼付される。気圧計が検定の有効期間内でかつ器差が検定公差(0.7hPa=0.5mmHg)以内の場合には、補正値の欄には「良」又は「good」と記入される。

Barometer Correction Card

Serial No. [　　]
Date:　　Port:

True value (a)	Barometer reading (b)	Correction for instrumental error (c) = (a) - (b)

Height above draft	Correction to sea level (d)	**Total correction** (e) = (c) + (d)
full load		
in ballast		

Please add (e) to the barometer reading.

Japan Meteorological Agency

気圧計製造番号
点検年月日及び点検場所
(a)　基準気圧計の値
(b)　船舶の気圧計の値
(c)　補正値
(d)　海面更正値
(e)　全補正値

第12.2 図　アネロイド型気圧計比較点検票

１２.２.３　FAX 又は電子メールによる気圧計の点検

我が国では、第12.4表に示した官署最寄りの港で訪船による点検を行っているが、これらの港に全く寄港しないか長期間寄港しない船舶は、下記の方法で気圧計の点検を行うことができる。

(1)　外国の港に寄港したときに港湾気象官の訪船点検を受ける。

上で述べたように世界の主要港には港湾気象官が配置されており、寄港時に要望すれば船舶の国籍を問わず訪船点検を受けることができる。その場合、WMOの国際観測通報船舶として登録されていれば、優先的に訪船サービスを受けることができる。

(2)　上で述べた港以外の日本の港に入港したときには、FAX又は電子メールにより気圧計の点検を行うことができる。これは、停泊港の最寄りの気象官署の気圧計と照合することによって

*WMO では海上の気象観測ネットワークの一環として、一般船舶による気象観測通報体制を確立するため、篤志観測船(Voluntary Observing Ship)計画を推進している。そして加盟国の気象機関に対して、船舶を気象観測に参加させること、船舶の観測通報を支援すること等を勧告している。気象庁を通じて WMO の篤志観測船として登録されている船舶のことを、我が国では国際観測通報船舶と呼んでいる。

気圧計の点検を行うものである。点検を希望するときは最寄りの港湾気象業務担当官署あてに問い合わせていただきたい。

なお、港湾気象官の訪船点検は、前節で述べた検定の代替にはならないので、定められた期間毎に気象庁の検定を受ける必要がある。

第１３章 関係法令等

１３.１　海上気象観測関係

一般船舶による海上気象観測の成果は、天気、波浪及び海面水温の解析や海上の気象統計に利用され、海上の予報・警報、波浪情報及び海況情報の発表や気候統計資料の刊行等を通じて、海難の防止、海上交通安全の確保、海運・漁業・水産業等の産業の興隆等、公共の福祉の増進に寄与している。

このように、観測の成果が有効かつ適切に利用されるためには、その成果が一定の技術基準(観測の手段、観測値の最小位数等)に従って観測されたものであると同時に一定の精度を持ったものであることが必要である。

気象業務法(昭和27年法律第165号)は、観測、予報・警報、測器の検定など気象業務の基本的な枠組みを規定している法律である。気象観測の技術的な統一を図るために、一般船舶を含む気象庁以外の者が行う気象観測の技術上の基準等を規定しているものが、気象業務法第6条をはじめとする法令である。また、気象業務法第7条等では、観測・報告に関して規定している。

１３.２　気象測器の検定関係

前節で述べたように観測の成果が有効・適切に利用されるためには、その観測値が一定の精度を持ったものであることが必要である。不適格な測器により観測された値、これらの値に基づく予報・警報や情報が発表された場合、災害の防止対策に遅れや誤りを生じて、人命や財産にかかわる重大な被害を被ることにもなりかねない。このため成果を公表したり成果を災害の防止に利用するために行う気象観測に使用する測器については、観測精度の維持、統一を図るために検定の制度が設けられている。

一般船舶の場合には、気象業務法第9条をはじめとする法令等で、検定済み気象測器の備え付け及び使用が規定されている。

１３.３ 関係法令条文

船舶の気象観測通報に関する法令を以下にあげる。ここでは、特にことわりのない場合は、「法」は気象業務法を、「政令」は気象業務法施行令を、「国土交通省令」は気象業務法施行規則、気象測器検定規則を指している。

○気象業務法(昭和27年法律第165号)(抄)

第2章　観測

(気象庁以外の者の行う気象観測)

第6条　気象庁以外の政府機関又は地方公共団体が気象の観測を行う場合には、国土交通省令で定める技術上の基準に従つてこれをしなければならない。但し、左に掲げる気象の観測を行う場合は、この限りでない。

一　研究のために行う気象の観測

二　教育のために行う気象の観測

三　国土交通省令で定める気象の観測

2　政府機関及び地方公共団体以外の者が次に掲げる気象の観測を行う場合には、前項の技術上の基準に従つてこれをしなければならない。ただし、国土交通省令で定める気象の観測を行う場合は、この限りでない。

一　その成果を発表するための気象の観測

二　その成果を災害の防止に利用するための気象の観測

3　前2項の規定により気象の観測を技術上の基準に従つてしなければならない者がその施設を設置したときは、国土交通省令の定めるところにより、その旨を気象庁長官に届け出なければならない。これを廃止したときも同様とする。

4　気象庁長官は、気象に関する観測網を確立するため必要があると認めるときは、前項前段の規定により届出をした者に対し、気象の観測の成果を報告することを求めることができる。

注　第1項「国土交通省令」=本法施行規則第1条の3

第7条　船舶安全法(昭和8年法律第11号)第4条の規定により無線電信を施設することを要する船舶で政令で定めるものは、国土交通省令の定めるところにより、気象測器を備え付けなければならない。

2　前項の船舶は、国土交通省令で定める区域を航行するときは、前条第1項の技術上の基準に従い気象及び水象を観測し、国土交通省令の定めるところにより、その成果を気象庁長官に報告しなければならない。

注　第1項「政令」=本法施行令第1条

第1項・第2項「国土交通省令」=本法施行規則第3条～第5条

(観測に使用する気象測器)

第9条　第6条第1項若しくは第2項の規定により技術上の基準に従つてしなければならない気象

の観測に用いる気象測器、第7条第1項の規定により船舶に備え付ける気象測器又は第17条第1項の規定により許可を受けた者が同項の予報業務のための観測に用いる気象測器であつて、正確な観測の実施及び観測の方法の統一を確保するために一定の構造(材料の性質を含む。)及び性能を有する必要があるものとして別表の上欄に掲げるものは、第32条の3及び第32条の4の規定により気象庁長官の登録を受けた者が行う検定に合格したものでなければ、使用してはならない。ただし、特殊の種類又は構造の気象測器で国土交通省令で定めるものは、この限りでない。

注　ただし書「国土交通省令」=本法施行規則第7条

(観測の実施方法の指導)

第10条　気象庁長官は、第6条第1項若しくは第2項の規定により技術上の基準に従つてしなければならない気象の観測を行う者又は第7条第1項の船舶若しくは第8条第1項の航空機において気象の観測に従事する者に対し、観測の実施方法について指導をすることができる。

(費用の負担等)

第12条　気象庁長官は、第6条第4項、第7条第2項又は第8条の規定により報告を行う者に対し、政令の定めるところにより、予算の範囲内において、その費用を負担することができる。

2　気象庁長官は、必要があると認めるときは、第6条第4項の規定により報告を行う者又は第7条第1項の船舶に対し、政令の定めるところにより、気象測器その他の機器を貸し付けることができる。

注　第1項「政令」=本法施行令第2条
　　第2項「政令」=本法施行令第3条

第5章　検定

(合格基準等)

第28条　第9条の登録を受けた者（以下「登録検定機関」という。）は、別表の上欄に掲げる気象測器について、検定の申請があつたときは、その気象測器が左の各号に適合するかどうかについて検査し、適合すると認めるときは、合格の検定をしなければならない。

一　その種類に応じて国土交通省令で定める構造(材料の性質を含む。)を有すること。

二　その器差が国土交通省令で定める検定公差を超えないこと。

2　登録検定機関は、第32条第1項の型式証明を受けた形式の気象測器について、前項の検査を行う場合には、同項第1号に適合するかどうかの検査を行わないことができる。

3　前項の規定により第1項第1号に適合するかどうかの検査を行わない場合における同項第2号に適合するかどうかの検査については、第32条の2第1項の認定を受けた者が国土交通省令で定めるところにより器差の測定を行つたときは、その測定の結果を記載した書類によりこれを行うことができる。

注　第1項「国土交通省令」=気象測器検定規則第14条
　　第3項「国土交通省令」=気象測器検定規則第34条

(検定証印及び検定証書)

第29条　検定に合格した気象測器には、国土交通省令の定めるところにより、検定証印を付する。ただし、その構造上検定証印を付することが困難な気象測器であつて、国土交通省令で定めるものについては、この限りでない。

2　気象測器が検定に合格したときは、登録検定機関は、検定を申請した者に対し、検定証書を交付しなければならない。

注　第1項「国土交通省令」=気象測器検定規則第13条

(検定の有効期間)

第31条　構造、使用条件、使用状況等からみて検定について有効期間を定めることが適当であると認められるものとして国土交通省令で定める気象測器の検定の有効期間は、その国土交通省令で定める期間とする

注　「国土交通省令」=気象測器検定規則第15条

(測定能力の認定)

第32条の2　気象庁長官は、申請により、気象測器の器差の測定を行う者について、国土交通省令で定める区分に従い、その事務所ごとに、次の各号に適合している旨の認定をすることができる。

一　気象測器の器差の測定を行う者の能力が国土交通省令で定める基準を満たすものであること。

二　気象測器の器差の測定に用いる国土交通省令で定める測定器その他の設備が、国土交通省令で定める期間内に気象庁長官による校正その他国土交通省令で定める校正を受けたものであること。

三　気象測器の器差の測定に係る業務の実施の方法が適正なものであること。

2～3　(略)

注　第1項「国土交通省令」=気象測器検定規則第25条～第27条

(登録)

第32条の3　第9条の登録は、気象測器の検定の実施に関する事務(以下「検定事務」という。)を行おうとする者の申請により行う。

(実施細目)

第34条　検定証印の様式、検定証書及び型式証明書の様式及び再交付その他検定及び型式証明並びに認定測定者及び登録検定機関に関する細目的事項は、国土交通省令で定める。

注　「国土交通省令」=気象測器検定規則

第6章　雑則

(報告及び検査)

第 41 条　気象庁長官は、この法律の施行に必要な限度において、第 17 条第 1 項若しくは第 26

条第 1 項の規定により許可を受けた者又は第 7 条第 1 項の船舶に対し、それらの行う気象業務に関し、報告させることができる。

2　気象庁長官は、この法律の施行に必要な限度において、指定試験機関、センター又は登録検定機関に対し、その業務に関し、報告させることができる。

3　気象庁長官は、この法律の施行に必要な限度において、認定測定者に対し、その業務に関し、報告させることができる。

4　気象庁長官は、この法律の施行に必要な限度において、その職員に、第 17 条第 1 項若しくは第 26 条第 1 項の規定により許可を受けた者若しくは第 6 条第 1 項若しくは第 2 項の規定により技術上の基準に従つてしなければならない気象の観測を行う者の事業所若しくは観測を行う場所又は第 7 条第 1 項の船舶に立ち入り、気象記録、気象測器その他の物件を検査させ、又は関係者に質問させることができる。

5　気象庁長官は、この法律の施行に必要な限度において、その職員に、指定試験機関、センター又は登録検定機関の事務所に立ち入り、業務の状況若しくは帳簿、書類その他の物件を検査させ、又は関係者に質問させることができる。

6　気象庁長官は、この法律の施行に必要な限度において、その職員に、認定測定者の事務所に立ち入り、業務の状況若しくは帳簿、書類その他の物件を検査させ、又は関係者に質問させることができる。

7　前 3 項の規定による権限は、犯罪捜査のために認められたものと解釈してはならない。

第7章　罰則

第46条　次の各号の一に該当する者は、50万円以下の罰金に処する。

一　第9条の規定に違反した者

二～七　（略）

第47条　次の各号のいずれかに該当する者は、30万円以下の罰金に処する。

一　第20条の2(第26条第2項において準用する場合を含む。)の規定による命令に違反した者

二　第38条第1項の規定による立入りを拒み、又は妨げた者

三　第41条第1項又は第3項の規定による報告をせず、又は虚偽の報告をした者

四　第41条第4項又は第6項の規定による検査を拒み、妨げ、若しくは忌避し、又は質問に対して陳述をせず、若しくは虚偽の陳述をした者

別表（第9条、第28条、第32条の4、第32条の7関係）

気象測器	測定器及び設備	
温度計	測定器	電気式温度計
	設備	恒温検査槽
気圧計	測定器	電気式気圧計
	設備	圧力検査装置
湿度計	測定器	通風型乾湿計、電気式湿度計又は鏡面冷却式露点計を用いた露点式湿度計
	設備	湿度検査槽

風速計	測定器	超音波式風速計、ピトー管、差圧計
	設備	風洞
日射計	測定器	電気式日射計
雨量計	測定器	ビュレット
雪量計	測定器	長さ計

○ 気象業務法施行令(昭和27年政令第471号)(抄)

(気象測器の備付けを要する船舶)

第1条　気象業務法(以下「法」という。)第7条第1項の政令で定める船舶は、次のとおりとする。

一　電気通信業務を取り扱う船舶

二　気象庁長官の指定する船舶

(費用の負担等)

第2条　法第12条第1項の規定により国が負担する費用の額は、通信料、消耗品費その他報告に要する費用について、気象庁長官が定める額とする。

第3条　法第12条第2項の規定による気象測器その他の機器の貸付は、左に掲げる場合において、原則として1年以内の期間を限り行うことができる。

一　法第6条第4項の規定により報告を行う者又は法第7条第1項の船舶の気象測器が法第5章の規定による検定のために使用することができない場合

二　前号の気象測器が災害その他の事故により、破損し、又は滅失した場合

三　気象に関する観測網を確立するため気象庁長官が必要と認める場合

○気象業務法施行規則(昭和27年運輸省令第101号)(抄)

(気象庁以外の者の行う観測の技術上の基準)

第1条の3　法第6条第1項の国土交通省令で定める技術上の基準は、次の表の上欄に掲げる種目ごとに、同表の中欄に掲げる手段で、同表の下欄に掲げる最小位数の観測値が得られるものでなければならない。ただし、(中略)気象業務法施行令(昭和27年政令第471号。以下「令」という。)第1条の船舶が第4条の規定により、気圧、気温及び水温の観測を行う場合における最小位数は気圧については0.1ヘクトパスカル、気温及び水温については0.1度(摂氏)とする。

一　気圧	気圧計(自由大気にあつては、ラジオゾンデ等)を用いて、ヘクトパスカルで測定する。	1ヘクトパスカル
二　気温	温度計又は気温を測ることのできる湿度計(自由大気にあつては、ラジオゾンデ等)を用いて、度(摂氏)で測定する。	1度
三　蒸気圧	湿度計を用いて、ヘクトパスカルで測定する。	1ヘクトパスカル
四　露点温度	湿度計を用いて、度(摂氏)で測定する。	1度
五　相対湿度	湿度計(自由大気にあつては、ラジオゾンデ等)を用いて、パ	1パーセント

	ーセントで測定する。	
六　風		
イ　風向	風向計(自由大気にあつては、測風気球等)を用い、又は目視により、十六方位又は八方位(自由大気にあつては度)で測定する。	自由大気にあつては 1 度
ロ　風速	風速計(自由大気にあつては、測風気球等)を用いて、メートル毎秒で測定する。	1 メートル毎秒
ハ　風力	目視により、気象庁風力階級表を用いて、測定する。	
七　降水量	雨量計又は雪量計を用いて、ミリメートルで測定する。	1 ミリメートル
八　積雪の深さ	雪量計を用いて、センチメートルで測定する。	1 センチメートル
九　雲		
イ　雲量	測雲器を用い、又は目視により、十分比で測定する。	
ロ　雲形	目視により、気象庁雲形種類表を用いて、測定する。	
ハ　雲の高さ	測雲器若しくは測雲気球を用い、又は目視により、メートルで測定する。	100 メートル
ニ　雲の向き	測雲器を用い、又は目視により、八方位で測定する。	
ホ　その他の状態	目視により、気象庁雲の状態種類表を用いて、測定する。	
十　視程	視程計を用い、又は目視により、気象庁視程階級表を用いて、測定する。	
十一　日照時間	日照計又は日射計を用いて、時で測定する。	0.1 時
十二　日射量	日射計を用いて、メガジュール毎平方メートルで測定する。	0.1 メガジュール毎平方メートル
十三　天気	目視及び聴音により、気象庁天気種類表を用いて、測定する。	
十四　水温	温度計を用いて、度(摂氏)で測定する。	1 度
十五　波浪		
イ　方向	目視により、十六方位で測定する。	
ロ　高さ	波浪計を用い、又は目視により、メートルで測定する。	0.5 メートル
ハ　周期	波浪計を用い、又は目視により、秒で測定する。	1 秒
ニ　その他の状態	目視により、気象庁風浪階級表及び気象庁うねり階級表を用いて、測定する。	
十六　海氷の状態	目視により、気象庁海氷状態表を用いて、測定する。	
十七　船舶の着氷の状態	目視により、気象庁船舶着氷状態表を用いて、測定する。	

2　前項の規定により、金属製温度計を用いるときはガラス製温度計と、毛髪製湿度計、露点式湿度計又は電気式湿度計を用いるときは乾湿式湿度計と随時比較点検しなければならない。

3　第1項の気象庁風力階級表、気象庁雲形種類表、気象庁雲の状態種類表、気象庁視程階級表、

気象庁天気種類表、気象庁風浪階級表、気象庁うねり階級表、気象庁海氷状態表及び気象庁船舶着氷状態表は、気象庁長官が定める。

注　第3項「気象庁長官の定め」=気象庁風力階級表等を定める件

(船舶の備え付ける気象測器)

第3条　令第1条の船舶は、航海中、次に掲げる気象測器を備え付けなければならない。

一　船舶用アネロイド型気圧計又は船舶用電気式気圧計

二　温度計

三　湿度計(漁船以外の船舶に限る。)

四　風速計(漁船以外の船舶であつて、遠洋区域を航行区域とするものに限る。)

五　風向計(漁船以外の船舶であつて、遠洋区域を航行区域とするものに限る。)

(船舶による気象及び水象の観測)

第4条　令第1条の船舶は、東は西経160度、西は東経100度、南は緯度0度、北は北緯65度の線により限られた海域において、毎日協定世界時の0時、3時、6時、9時、12時、15時、18時及び21時(その時刻が、当該船舶に現に乗り組んでいる無線電信の操作に従事する者の執務時間の終了時刻となる場合であつて、その時刻の観測の成果を観測後直ちに電報で報告することが困難となるときは、1時間繰り上げた時刻とする。)に、次に掲げる種目について、気象及び水象の観測を行わなければならない。

一　気圧

二　気温

三　露点温度(前条第3号に掲げる気象測器を備え付けている船舶に限る。)

四　風

イ　風向

ロ　風速(前条第4号に掲げる気象測器を備え付けている船舶に限る。)又は風力

五　雲

六　視程

七　天気

八　水温

九　波浪

十　海氷の状態

十一　船舶の着氷の状態

(船舶による観測の成果の報告)

第5条　前条の船舶は、同条の規定に従い気象及び水象の観測を行つたときは、次の各号に掲げる航行の区分に応じ、当該各号に掲げる時刻の観測の成果を、観測後直ちに、気象庁長官の定める形式により、電報で気象庁長官に報告しなければならない。ただし、その時刻が当該船舶に現に乗り組んでいる無線電信の操作に従事する者の執務時間の終了時刻である場合であつてその時刻の観測の成果を観測後直ちに電報で報告することが困難なとき、又はその時

刻がこれらの者の執務時間外であるときは、この限りでない。

一　東は東経170度、西は東経115度、南は北緯10度、北は北緯65度の線により限られた海域を航行しているとき(本邦(離島を除く。)の海岸から50海里以内を航行しているときを除く。) 0時、3時、6時、9時、12時、15時、18時及び21時(観測の時刻を一時間繰り上げたときは、その時刻とする。)

二　東は西経160度、西は東経100度、南は緯度0度、北は北緯65度の線により限られた海域(前号の海域を除く。)を航行しているとき 0時、6時、12時及び18時(観測の時刻を一時間繰り上げたときは、その時刻とする。)

2　前項の場合において、組をつくつて同一の行動をとる船舶にあつては、その中の一の船舶が報告すればよい。

3　前条の船舶は、航海終了の日(国際航海に従事する船舶にあつては、外国の港から最初に本邦の港に到達した日)から10日以内に、気象庁長官の定める観測表を、気象庁長官に提出しなければならない。

第49条　法第5章の検定に係る気象測器の構造、検定公差その他検定及び型式証明並びに認定測定者及び登録検定機関に関する細目的事項は、別に定める。

注　「別の定め」=気象測器検定規則

(報告)

第50条　法第7条第1項の船舶及び法第17条第1項又は法第26条第1項の規定により許可を受けた者は、気象庁長官が定める場合を除き、次の各号に掲げる場合に該当することとなったときは、その旨を記載した報告書を気象庁長官に提出しなければならない。

一　法第7条第1項の船舶に該当することとなつた場合

一　その後1月1日において引き続き法第7条第1項の船舶に該当する場合

三　前二号に掲げる場合において、別記第4号様式に記載した事項(航路を除く。)に変更があつたとき

四～七（略）

2　前項の報告は、報告事由の発生した後遅滞なく(同項第一号から第三号までに掲げる場合にあっては、30日以内に)行わなければならない。

3　第1項第一号から第三号までの報告をしようとするときは、報告事由が発生した日現在において別記第4号様式の報告書を作成し、提出しなければならない。

4～5　（略）

○気象測器検定規則(平成14年国土交通省令第25号)(抄)

(定義)

第1条　この省令において使用する用語は、気象業務法(以下「法」という。)において使用する用語の例による。

2　この省令において「ラジオゾンデ」とは、温度計及び湿度計又は温度計、湿度計及び気圧計が構造上一体となっており、それぞれが測定した値を無線で送信するもので、高度ごとの自

由大気の温度及び湿度又は温度、湿度及び気圧を観測するためのものをいう。

3　この省令において「個別の器差」とは、個別の検査点において気象測器の表す量が真実の量を超える場合におけるその超過量又は気象測器の表す量が真実の量に足りない場合におけるその不足量をいう。

4　この省令において「較差」とは、隣り合う検査点における個別の器差の差をいう。

5　この省令において「極差」とは、個別の器差の最大値と最小値の差をいう。

(気象測器の種類)

第 2 条　法第 9 条の検定は、次の各号に掲げる気象測器の種類に応じて行うものとする。

一　ガラス製温度計(温度の変化によりガラス管内に封入した液体が膨張又は収縮するという性質を用いて、温度を測定するものをいう。)

二　金属製温度計(温度の変化により二種類の金属板を張り合わせたバイメタルが湾曲するという性質を用いて温度を測定するものをいう。)

三　電気式温度計(温度の変化により物質の電気抵抗が変化するという性質を用いて温度を測定するものをいう。)

四　ラジオゾンデ用温度計(温度の変化により物質の電気抵抗又は誘電率が変化するという性質を用いて自由大気の温度を測定するものであって、測定した値を無線で送信するための信号として出力できるものをいう。)

五　液柱型水銀気圧計(気圧の変化により水銀柱の高さが変化するという性質を用いて気圧を測定するものをいう。)

六　アネロイド型気圧計(気圧の変化により内部の圧力が安定している密閉容器(以下「気圧計用チャンバー」という。)が膨張又は収縮するという性質を用いて気圧を測定するものをいう。)

七　電気式気圧計(気圧の変化により気圧計用チャンバーが膨張又は収縮してコンデンサーの静電容量又は共振部分の共振周波数が変化するという性質を用いて気圧を測定するものをいう。)

八　ラジオゾンデ用気圧計(気圧の変化により気圧計用チャンバーが膨張又は収縮してコンデンサーの静電容量又は共振部分の共振周波数が変化するという性質を用いて自由大気の気圧を測定するものであって、測定した値を無線で送信するための信号として出力できるものをいう。)

九　乾湿式湿度計(二つの温度計(金属製温度計を除く。)の一つを湿らせておくことで、湿度の変化によりこれらの温度計の示す温度の差が変化するという性質を用いて湿度を測定するものをいう。)

十　毛髪製湿度計(湿度の変化により毛髪が伸縮するという性質を用いて湿度を測定するものをいう。)

十一　露点式湿度計(湿度の変化により温度に応じた露点温度が変化するという性質を用いて湿度を測定するものをいう。)

十二　電気式湿度計(湿度の変化により物質の電気抵抗又は誘電率が変化するという性質を用いて湿度を測定するものをいう。)

十三　ラジオゾンデ用湿度計(湿度の変化により物質の電気抵抗又は誘電率が変化するとい

う性質を用いて自由大気の湿度を測定するものであって、測定した値を無線で送信するための信号として出力できるものをいう。）

十四　風杯型風速計（風速の変化により風杯の回転数が変化するという性質を用いて風速を測定するものをいう。）

十五　風車型風速計（風速の変化によりプロペラ又は翼車の回転数が変化するという性質を用いて風速を測定するものをいう。）

十六　超音波式風速計（風速の変化により超音波の伝搬時間が変化するという性質を用いて風速を測定するものをいう。）

十七　電気式日射計（日射量の変化により当該日射を受けた部分の金属と日射を受けない部分の金属の温度差から生じる電力量が変化するという性質を用いて日射量を測定するものをいう。）

十八　貯水型雨量計（雨量の変化により受水器で受けた雨による貯水の深さが変化するという性質を用いて雨量を測定するものをいう。）

十九　転倒ます型雨量計（雨量の変化により受水器で受けた雨が一定量入るごとに転倒するますの転倒回数が変化するという性質を用いて雨量を測定するものをいう。）

二十　積雪計（積雪の深さの変化により超音波又は光の伝搬経路又は伝搬時間が変化するという性質を用いて積雪の深さを測定する雪量計をいう。）

二十一　複合気象測器（ラジオゾンデその他の前各号に掲げる気象測器の二以上が構造上一体となっているものをいう。）

(検定証印等)

第13条　検定証印は、刻印、ゴム印又はシールとし、気象測器の適当な部分に附すものとする。この場合において適当な部分がないときは、容易に離脱しない方法により、気象測器に緊着した金属片その他のものにこれを附すことができる。

2　前項の検定証印の形状、寸法等は、次の表のとおりとする。

3　検定証書の様式は、第1号様式のとおりとする。

注　表は第12章（第12.2表）に掲載しているため、省略

(合格基準)

第14条　気象測器の構造は、第2条に掲げる気象測器の種類に応じて、材料、部品及びその組み合わせ、目盛若しくは数字表示、表記又は性能について告示で定める基準に適合するものでなければならない。

2　気象測器の器差は、第2条に掲げる気象測器の種類に応じて、個別の器差、較差又は極差について告示で定める検定公差を超えないものでなければならない。

(検定の有効期間)

第15条　法第31条の国土交通省令で定める気象測器は、次の表の上欄に掲げるものとし、その検定の有効期間は、同表の下欄に掲げるものとする。

電気式気圧計	10年

液柱型水銀気圧計 アネロイド型気圧計 風杯型風速計 風車型風速計 超音波式風速計 電気式日射計 貯水型雨量計（自記式のものに限る。） 転倒ます型雨量計	5年
ラジオゾンデ用温度計 ラジオゾンデ用気圧計 ラジオゾンデ用湿度計	1年

2　複合測器の検定の有効期間は、これを構成する各気象測器の検定の有効期間のうち最も短いものと同じ期間とする。

3　船舶で用いる気象測器の検定の有効期間は、船舶が航行中又は外国の港に停泊している間に前2項の期間が経過する場合は、前2項の規定にかかわらず、その後最初に本邦の港に到着した日までとする。

○気象庁風力階級表等を定める件(昭和28年運輸省告示第58号)

気象業務法施行令(昭和27年政令第471号)第2条第2項[現行=気象業務法施行規則第1条の3]の規定に基き、中央気象台風力階級表等を次のように定める。

一　気象庁風力階級表(ビューフオート風力階級表)(略)

二　気象庁雲形種類表(略)

三　削除

四　気象庁雲の状態種類表(略)

五　気象庁視程階級表(略)

六　気象庁天気種類表(略)

七　気象庁風浪階級表(略)

八　気象庁うねり階級表(略)

九　気象庁海氷状態表(略)

十　気象庁船舶着氷状態表(略)

編注　第一号～第十号(第三号を除く)の表の内容については、本指針の第4～7章及び第9～11章のそれぞれ該当する気象要素の章を参照

○船舶安全法(昭和8年法律第11号)(抄)

第4条　船舶は国土交通省令の定むる所に依り其の航行する水域に応じ電波法(昭和25年法律第131号)に依る無線電信又は無線電話にして船舶の堪航性及人命の安全に関し陸上との間に於て相互に行ふ無線通信に使用し得るもの(以下無線電信等と称す)を施設することを要す　但し航海の目的其の他の事情に依り国土交通大臣に於て已むことを得ず又は必要なしと認むるときは此の限に在らず

② 前項の規定は第2条第2項に掲ぐる船舶其の他無線電信等の施設を要せざるものとして国土交通省令を以て定むる船舶には之を適用せず

付録１　船舶の気象観測報告用資料及び消耗品一覧表

観測資料

「船舶気象観測表による報告および船舶気象通報の手引き（日英両版）」
「船舶気象観測指針(日本語版)」
「船舶気象観測指針(英語版：Guide to Weather Observations for Ships)」
「船舶気象観測表（日英両版）」
「観測表送付用封筒（日英両版）」
「観測表送付用封筒 CD 用（日英両版）」
「船舶気象報符号表」（日本語版）
「船舶気象報符号表」（英語版）
「気象常用表」（露点温度を求める表）（日英両版）
「気象庁雲の状態種類表」（日英両版）
「気象庁風力階級表」（日英両版）
「海洋気象通報の手引き」（日本語版）

船舶気象報作成ソフトウェア関連資料

「OBSJMA」
「船舶気象報作成ソフトウェア取扱マニュアル」
「船舶気象観測シート（OBSJMA 対応）」
「データ保存用 FD」
「データ保存用 CD」

パンフレット

「船舶による海上気象観測と港湾気象サービス」（日英両版）
「冬の海の安全を守る海氷情報」
「船舶向け気象と海洋の情報」

船舶向け広報誌

「船と海上気象」

上の資料の請求先

〒100-8122　東京都 千代田区 大手町 1-3-4

気象庁 地球環境・海洋部 海洋気象課

TEL　03-3212-8341 (内線 5144)

FAX　03-3211-6908

E-mail　VOS@climar.kishou.go.jp

付録 2　飽和蒸気圧表

水の飽和蒸気圧表

温度 (℃)	温度 10 分数									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa
0	6.11	6.15	6.20	6.24	6.29	6.33	6.38	6.43	6.47	6.52
1	6.57	6.61	6.66	6.71	6.76	6.81	6.86	6.90	6.95	7.00
2	7.05	7.10	7.16	7.21	7.26	7.31	7.36	7.42	7.47	7.52
3	7.57	7.63	7.68	7.74	7.79	7.85	7.90	7.96	8.02	8.07
4	8.13	8.19	8.24	8.30	8.36	8.42	8.48	8.54	8.60	8.66
5	8.72	8.78	8.84	8.90	8.96	9.03	9.09	9.15	9.22	9.28
6	9.35	9.41	9.48	9.54	9.61	9.67	9.74	9.81	9.88	9.94
7	10.01	10.08	10.15	10.22	10.29	10.36	10.43	10.50	10.58	10.65
8	10.72	10.79	10.87	10.94	11.02	11.09	11.17	11.24	11.32	11.40
9	11.47	11.55	11.63	11.71	11.79	11.87	11.95	12.03	12.11	12.19
10	12.27	12.35	12.44	12.52	12.60	12.69	12.77	12.86	12.94	13.03
11	13.12	13.21	13.29	13.38	13.47	13.56	13.65	13.74	13.83	13.92
12	14.02	14.11	14.20	14.30	14.39	14.49	14.58	14.68	14.77	14.87
13	14.97	15.07	15.16	15.26	15.36	15.46	15.57	15.67	15.77	15.87
14	15.98	16.08	16.18	16.29	16.40	16.50	16.61	16.72	16.82	16.93
15	17.04	17.15	17.26	17.37	17.49	17.60	17.71	17.83	17.94	18.06
16	18.17	18.29	18.41	18.52	18.64	18.76	18.88	19.00	19.12	19.24
17	19.37	19.49	19.61	19.74	19.86	19.99	20.11	20.24	20.37	20.50
18	20.63	20.76	20.89	21.02	21.15	21.29	21.42	21.55	21.69	21.83
19	21.96	22.10	22.24	22.38	22.52	22.66	22.80	22.94	23.08	23.23
20	23.37	23.52	23.66	23.81	23.96	24.10	24.25	24.40	24.55	24.71
21	24.86	25.01	25.17	25.32	25.48	25.63	25.79	25.95	26.11	26.27
22	26.43	26.59	26.75	26.92	27.08	27.25	27.41	27.58	27.75	27.91
23	28.08	28.25	28.43	28.60	28.77	28.95	29.12	29.30	29.47	29.65
24	29.83	30.01	30.19	30.37	30.55	30.74	30.92	31.11	31.29	31.48
25	31.67	31.86	32.05	32.24	32.43	32.62	32.82	33.01	33.21	33.41
26	33.61	33.81	34.01	34.21	34.41	34.61	34.82	35.02	35.23	35.44
27	35.65	35.86	36.07	36.28	36.49	36.71	36.92	37.14	37.36	37.57
28	37.79	38.01	38.24	38.46	38.68	38.91	39.14	39.36	39.59	39.82
29	40.05	40.28	40.52	40.75	40.99	41.23	41.46	41.70	41.94	42.18
30	42.43	42.67	42.92	43.16	43.41	43.66	43.91	44.16	44.42	44.67
31	44.92	45.18	45.44	45.70	45.96	46.22	46.48	46.75	47.01	47.28
32	47.55	47.82	48.09	48.36	48.63	48.91	49.19	49.46	49.74	50.02
33	50.30	50.59	50.87	51.16	51.44	51.73	52.02	52.31	52.61	52.90
34	53.20	53.49	53.79	54.09	54.39	54.70	55.00	55.31	55.61	55.92
35	56.23	56.55	56.86	57.17	57.49	57.81	58.13	58.45	58.77	59.09
36	59.42	59.75	60.07	60.40	60.74	61.07	61.40	61.74	62.08	62.42
37	62.76	63.10	63.45	63.79	64.14	64.49	64.84	65.19	65.55	65.90
38	66.26	66.62	66.98	67.34	67.71	68.07	68.44	68.81	69.18	69.56
39	69.93	70.31	70.68	71.06	71.45	71.83	72.22	72.60	72.99	73.38
40	73.77	74.17	74.56	74.96	75.36	75.76	76.17	76.57	76.98	77.39
41	77.80	78.21	78.63	79.04	79.46	79.88	80.30	80.73	81.15	81.58
42	82.01	82.44	82.88	83.31	83.75	84.19	84.63	85.08	85.52	85.97
43	86.42	86.87	87.32	87.78	88.24	88.70	89.16	89.62	90.09	90.56
44	91.03	91.50	91.98	92.45	92.93	93.41	93.90	94.38	94.87	95.36
45	95.85	96.34	96.84	97.34	97.84	98.34	98.85	99.35	99.86	100.38
46	100.89	101.41	101.92	102.45	102.97	103.49	104.02	104.55	105.08	105.62
47	106.15	106.69	107.24	107.78	108.33	108.87	109.43	109.98	110.54	111.09
48	111.65	112.22	112.78	113.35	113.92	114.49	115.07	115.65	116.23	116.81
49	117.40	117.98	118.57	119.17	119.76	120.36	120.96	121.57	122.17	122.78
50	123.39	124.00	124.62	125.24	125.86	126.48	127.11	127.74	128.37	129.01

水の飽和蒸気圧表（過冷却）

温度	温度 10 分数									
(℃)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa
-50	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
-49	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06
-48	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07
-47	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
-46	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
-45	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
-44	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11
-43	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
-42	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14
-41	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
-40	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17
-39	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19
-38	0.23	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21
-37	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
-36	0.28	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26
-35	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29
-34	0.35	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	0.32	0.32	0.32
-33	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35
-32	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40	0.39	0.39	0.39
-31	0.46	0.46	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44	0.43	0.43	0.42
-30	0.51	0.50	0.50	0.49	0.49	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47
-29	0.56	0.55	0.55	0.54	0.54	0.53	0.53	0.52	0.52	0.51
-28	0.61	0.61	0.60	0.60	0.59	0.59	0.58	0.58	0.57	0.56
-27	0.67	0.67	0.66	0.65	0.65	0.64	0.64	0.63	0.63	0.62
-26	0.74	0.73	0.72	0.72	0.71	0.70	0.70	0.69	0.69	0.68
-25	0.81	0.80	0.79	0.79	0.78	0.77	0.76	0.76	0.75	0.74
-24	0.88	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.84	0.83	0.82	0.81
-23	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.92	0.91	0.90	0.89
-22	1.05	1.04	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97
-21	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06
-20	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20	1.19	1.18	1.17	1.16
-19	1.37	1.35	1.34	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27
-18	1.49	1.48	1.46	1.45	1.44	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38
-17	1.62	1.61	1.59	1.58	1.57	1.55	1.54	1.53	1.51	1.50
-16	1.76	1.75	1.73	1.72	1.70	1.69	1.67	1.66	1.65	1.63
-15	1.91	1.90	1.88	1.87	1.85	1.83	1.82	1.80	1.79	1.77
-14	2.08	2.06	2.04	2.03	2.01	1.99	1.98	1.96	1.94	1.93
-13	2.25	2.23	2.22	2.20	2.18	2.16	2.14	2.13	2.11	2.09
-12	2.44	2.42	2.40	2.38	2.36	2.34	2.33	2.31	2.29	2.27
-11	2.64	2.62	2.60	2.58	2.56	2.54	2.52	2.50	2.48	2.46
-10	2.86	2.84	2.82	2.80	2.77	2.75	2.73	2.71	2.69	2.67
- 9	3.10	3.07	3.05	3.03	3.00	2.98	2.95	2.93	2.91	2.89
- 8	3.35	3.32	3.30	3.27	3.25	3.22	3.20	3.17	3.15	3.12
- 7	3.62	3.59	3.56	3.53	3.51	3.48	3.45	3.43	3.40	3.37
- 6	3.91	3.88	3.85	3.82	3.79	3.76	3.73	3.70	3.67	3.65
- 5	4.21	4.18	4.15	4.12	4.09	4.06	4.03	4.00	3.97	3.94
- 4	4.54	4.51	4.48	4.44	4.41	4.38	4.34	4.31	4.28	4.25
- 3	4.90	4.86	4.83	4.79	4.75	4.72	4.68	4.65	4.61	4.58
- 2	5.28	5.24	5.20	5.16	5.12	5.08	5.05	5.01	4.97	4.93
- 1	5.68	5.64	5.60	5.55	5.51	5.47	5.43	5.39	5.35	5.31
- 0	6.11	6.06	6.02	5.98	5.93	5.89	5.85	5.80	5.76	5.72

氷の飽和蒸気圧表

温度 (℃)	温度 10 分数									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa
- 0	6.11	6.06	6.01	5.96	5.91	5.86	5.81	5.76	5.72	5.67
- 1	5.62	5.58	5.53	5.48	5.44	5.39	5.35	5.30	5.26	5.22
- 2	5.17	5.13	5.09	5.04	5.00	4.96	4.92	4.88	4.84	4.80
- 3	4.76	4.72	4.68	4.64	4.60	4.56	4.52	4.48	4.45	4.41
- 4	4.37	4.33	4.30	4.26	4.23	4.19	4.15	4.12	4.08	4.05
- 5	4.01	3.98	3.95	3.91	3.88	3.85	3.81	3.78	3.75	3.72
- 6	3.68	3.65	3.62	3.59	3.56	3.53	3.50	3.47	3.44	3.41
- 7	3.38	3.35	3.32	3.29	3.26	3.24	3.21	3.18	3.15	3.12
- 8	3.10	3.07	3.04	3.02	2.99	2.96	2.94	2.91	2.89	2.86
- 9	2.84	2.81	2.79	2.76	2.74	2.71	2.69	2.67	2.64	2.62
-10	2.60	2.57	2.55	2.53	2.51	2.48	2.46	2.44	2.42	2.40
-11	2.38	2.35	2.33	2.31	2.29	2.27	2.25	2.23	2.21	2.19
-12	2.17	2.15	2.13	2.11	2.09	2.08	2.06	2.04	2.02	2.00
-13	1.98	1.97	1.95	1.93	1.91	1.90	1.88	1.86	1.84	1.83
-14	1.81	1.79	1.78	1.76	1.75	1.73	1.71	1.70	1.68	1.67
-15	1.65	1.64	1.62	1.61	1.59	1.58	1.56	1.55	1.53	1.52
-16	1.51	1.49	1.48	1.46	1.45	1.44	1.42	1.41	1.40	1.38
-17	1.37	1.36	1.35	1.33	1.32	1.31	1.30	1.28	1.27	1.26
-18	1.25	1.24	1.23	1.21	1.20	1.19	1.18	1.17	1.16	1.15
-19	1.14	1.12	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04
-20	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95
-21	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88	0.88	0.87	0.86
-22	0.85	0.84	0.83	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.79	0.78
-23	0.77	0.76	0.76	0.75	0.74	0.73	0.73	0.72	0.71	0.71
-24	0.70	0.69	0.69	0.68	0.67	0.67	0.66	0.65	0.65	0.64
-25	0.63	0.63	0.62	0.61	0.61	0.60	0.60	0.59	0.58	0.58
-26	0.57	0.57	0.56	0.56	0.55	0.54	0.54	0.53	0.53	0.52
-27	0.52	0.51	0.51	0.50	0.50	0.49	0.49	0.48	0.48	0.47
-28	0.47	0.46	0.46	0.45	0.45	0.44	0.44	0.43	0.43	0.43
-29	0.42	0.42	0.41	0.41	0.40	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38
-30	0.38	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35	0.35
-31	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	0.32	0.32	0.31	0.31
-32	0.31	0.31	0.30	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28
-33	0.28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25
-34	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23
-35	0.22	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20
-36	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18
-37	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16
-38	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
-39	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13
-40	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
-41	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10
-42	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09
-43	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08
-44	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07
-45	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
-46	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
-47	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
-48	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
-49	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
-50	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04

解　説

１．水の飽和蒸気圧表

水と熱力学的平衡状態にある水蒸気の圧力を e_whPa とし、絶対目盛りで表した温度を T、水の三重点の温度を T_1＝273.16K とすると、実験的に次の関係式が導かれている。

$$\begin{aligned}\log_{10} e_w = &+10.79574\left(1-\frac{T_1}{T}\right)-5.02800\log_{10}\left(\frac{T}{T_1}\right)\\ &+1.50475\times10^{-4}\left(1-10^{-8.2969\left(\frac{T}{T_1}-1\right)}\right)\\ &+0.42873\times10^{-3}\left(10^{4.76955\left(1-\frac{T_1}{T}\right)}-1\right)\\ &+0.78614\end{aligned}$$

水の飽和蒸気圧表はこの式によって計算したものである。0℃(273.15K)以下の温度に対する蒸気圧は過冷却した水に対して飽和した場合である。

２．氷の飽和蒸気圧表

氷と熱力学的平衡状態にある水蒸気の圧力を e_ihPa とし、Tを上と同様に絶対温度とすれば

$$\begin{aligned}\log_{10} e_i = &-9.09685\left(\frac{T_1}{T}-1\right)-3.56654\log_{10}\left(\frac{T_1}{T}\right)\\ &+0.87682\left(1-\frac{T}{T_1}\right)+0.78614\end{aligned}$$

氷の飽和蒸気圧表はこの式によって計算したものである。

DUMMY

海氷

○豊田威信（北海道大学）

1、はじめに

海水が凍結してできたあらゆる形態の氷を海氷（sea ice）という。海でみられる氷には、海氷のほか、氷山のように陸でできた陸氷（ice of land origin）、湖や河川でできた湖氷（lake ice）や河氷（river ice）がある。これらが水に浮かんでいるものを総称して浮氷（floating ice）と呼ぶ。日本近海でみられる浮氷はほとんど海氷である。また、海氷域内の氷は海岸や氷河壁に固着している定着氷とそれ以外の流氷に分けられる。海氷は海水に比べて高い割合で太陽光を反射し、海洋から大気へ運ばれる熱や物質を遮断するため、極域の気候の形成に重要な役割を果たしており、長期間にわたる一定基準の海氷観測は気候変動を知る上で大変重要な情報を提供する。

海氷の観測には、沿岸（陸上）で行うもの、氷上で行うもの、係留系を用いて行うもの、船舶で行うもの、航空機で行うものおよび人工衛星によるものがある。ここでは特に船舶から行う観測の方法や要領について、国際的に確立された船上目視観測に焦点をあてて述べる（2 節）。目視観測のプロトコルは南極海氷を対象としたもの（2-2,2-3 節）と北極海氷を対象としたもの（2-4 節）が存在し、現在も世界の様々な海氷域でデータが蓄積されつつある。これまでに得られた成果の一端を 2-5 節に記した。また、日本国内においては沿岸からの目視観測（沿岸海氷観測）は古くから気象官署で継続して行われており気候変動にかかわる重要な資料であるため、現在実施されている観測要領を気象庁の観測指針から抜粋して記載する（3 節）。

海氷観測では、海氷の種類等の分類は 1970 年に世界気象機関 WMO (World Meteorological Organization) によって刊行された海氷用語集に準拠する。従って、WMO が定めた海氷用語について 4 節に、代表的な写真例を 5 節にまとめて掲載した。

2　船上海氷観測

2-1.概説

船上海氷観測においては、船舶が海氷域を航行中に定時に船舶から海氷の状態を目視で観測するものが重要な役割を果たす。海氷密接度、氷盤の大きさ、氷厚や積雪深などの氷況データを国際的に標準化されたコードに従い記録する。船舶航路に沿った広域の氷況にかかわる情報を提供して船舶の安全航行に資するのみならず、衛星等のリモートセンシングデータの検証データとしても用いられる。さらに、長期間にわたって記録された資料の統計は各海氷域間の氷況特性の相互比較あるいは気候変動の基礎資料として有用な情報を提供する。

これまで南極海氷域の船上海氷観測に関しては、1997 年に南極研究科学委員会 Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR）が設立した Antarctic Sea Ice Processes and Climate (ASPeCt) 計画により観測プロトコルが確立した(http://aspect.antarctica.gov.au/)。これは観測手法を指南するのみならず、従来南極海の様々な海域で様々な様式で記録されてきた氷況の記録を統合するのも一つの重要な目的であった。観測プロトコルは基本的には世界気象機関

World Meteorological Organization (WMO)が 1970 年に刊行した海氷用語（4 節）を基本としており、分類した各々の氷種に対して氷厚、氷盤の大きさ、表面起伏、積雪の種類と厚さを記録するように定めている。観測マニュアルは Worby and Allison (1999)にまとめられており、ここでは観測に必要な箇所を抜粋して翻訳したものを 2-2 節と 2-3 節に掲載する。観測種目の中でもとりわけ氷厚推定に重点が置かれており、観測者は基本的には平坦氷の氷厚を観測し、リッジ氷の氷厚は簡易なリッジモデルを用いて表面起伏データから推定して氷盤の平均氷厚を見積もるのが特徴である（2-3-3 節）。氷種別にあらかじめ定めたアルベドを用いて各氷種の占める面積比率から海氷域全体のアルベドを推定するのも利用方法の一つである（2-3-4 節）。一年氷であれば海氷の形態には共通点が多いことから、南極海氷域に限らずオホーツク海など様々な季節海氷域で適用可能な観測手法と考えられる。日本南極地域観測隊（Japanese Antarctic Research Expedition）用に簡略した形式も大島ら(2006)によって提唱されている。

一方、北極海氷域に関しては、海氷観測の歴史が南極域よりも長く、様々な機関がそれぞれに定めた様式で氷況を記録してきた経緯があるため、却って標準化された観測プロトコルを確立するのが容易でない状況にあった（Worby and Eicken, 2009）。しかしながら、近年北極海の氷況の急激な変化に伴い、現場における観測ネットワークを構築することへの期待と観測手法の標準化への関心が高まりつつある。この機運に応じて 2008 年、世界気候研究計画 World Climate Research Programme (WCRP) の主要プロジェクトである気候と雪氷圏計画 Climate and Cryosphere (CliC) は北極海氷ワーキンググループを立ち上げ、標準化された観測プロトコルを確立しつつある。基本的には南極海氷向けに確立された ASPeCt に準拠したものであるが、いくつか北極海氷向けに観測項目が追加されている。北極海氷と南極海氷の主要な違いは融解期の表面形態、セディメントの含有量などが挙げられる。北極海氷は南極海氷と異なり表面融解が盛んであり、融解期には表面に多くのメルトポンド（パドル）が発達する。メルトポンドは季節とともに進展し表面熱収支に及ぼす影響が大きいため、新たなコードが設けられている。また、水深が 30 m 以下の比較的浅い海域で成長する海氷が多く、高濃度のセディメントを含有する海氷も時折見られる。このため、セディメントに関する観測コードも設けられている。その他、海洋生物に関する項目が設けられているのも特徴の一つである。観測プロトコルに関する詳細はウェブサイト (http:// www.iarc.uaf.edu/icewatch) を参照されたい。

なお、目視観測のほかにも船舶搭載型の氷厚センサーとして、1990 年代後半から電磁誘導（electromagnetic induction、略して EM）法が多くの砕氷船で用いられるようになった。センサー部は両端に各々送信コイルと受信コイルを持つ約 4 m 長の円筒状の装置であり、船体から十分放してセンサー部を水平になるように保ちながら走行して計測する（図 1）。装置の片端の送信コイルから発信された電磁場によって海水―海氷境界面（海氷底面）に渦電流が誘導され、この渦電流によって生じた二次磁場の強度をもう一方の受信コイルで測定することにより装置から海氷底面までの距離が見積もられる。同時にレーザー距離計により装置と海氷表面までの距離を測定して両者の差を取ることにより、海氷厚を推定するという手法である。平坦氷もリッジ氷も区別なく比較的厚い氷も含めて連続的に測定できる点に特長がある。航路選択によるバイアスを考慮する必要があるものの、この手法により船舶は走行しながら広域の氷厚分布を定量的に把握することが可能となった。南極海およびオホーツク海

に適用された観測の詳細については Haas (1998)と Uto et al. (2006)を参照されたい。ほぼ定まった航路上で継続的に観測を実施できれば気候変動の監視に有用な基礎資料となることが期待される。

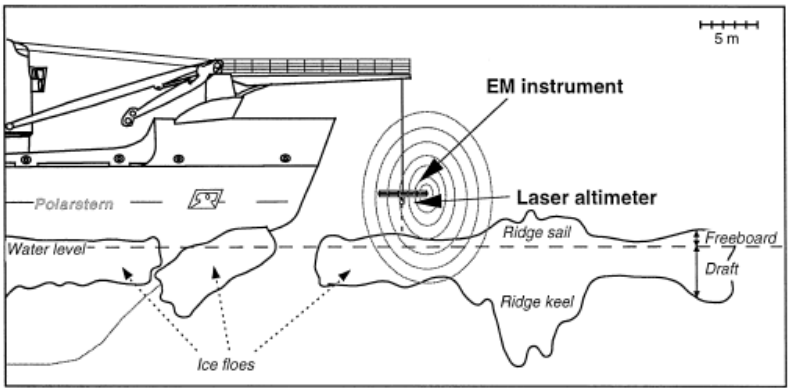


図 1.ドイツ砕氷船”Polarstern”に搭載された EM センサーの模式図（Haas (1998)より引用）

2-2.観測の手法（南極海氷域、Worby and Allison (1999)より。ゴシック体小文字は訳注。）

標準的には観測者は船橋から毎正時に観測を行う。船舶を中心とする半径約 1 km の領域を対象として氷厚に応じて 3 つの主要なカテゴリーに分類し、船舶の位置、全体海氷密接度、それに各々のカテゴリーに属する海氷の部分海氷密接度、氷厚、氷盤の大きさ、表面起伏、積雪の見積もりを行う。3 つの主要な海氷カテゴリーへの分類は面積を基準に定められるが、最大の氷厚をもつカテゴリーが「主要氷種（primary ice type）」と定義される。カテゴリーが一種類か二種類しか存在しない場合もあり得るが、この場合には主要氷種、あるいは主要氷種と第二氷種（secondary ice type）のみを定める。観測結果は WMO (1970)の海氷用語に基づき、特に南極域の海氷を意図して作成された観測シートに記入される。

観測シート（空欄）の見本は表 1 に、観測コードの一覧表は表 2 に掲載した。

2-2-1.海氷密接度(c)

全体海氷密接度はあらゆる種類の海氷で覆われた面積全体を見積もった量であり、対象領域に対する比率として十分位数で表され 0 から 10 までの整数で記録される。ごく僅かのクラックが存在する非常に高い海氷密接度（95-99%）の場合には全体海氷密接度は 10 と記録されるべきであり、開水面の形態コードを 1（small cracks）に分類することにより、完全に海氷に覆われた領域（開水面の形態コードは 0: no openings）と識別される。 3 つの主要なカテゴリー各々の海氷密接度の見積もりも同様に行う。これらもまた面積比率を十分位数で表し、3 つの部分海氷密接度の合計は全体海氷密接度と等しくならねばならない。時おり海氷域内に多くの海氷の種類が存在して 3 つのカテゴリーに分類することが困難な場合もあるが、この場合には代表性を確保しながらいくつかのカテゴリーをひとまとめにする必要がある。

2-2-2.海氷の種類(ty)

様々な海氷の種類のカテゴリーが、観測記録に用いるコードと併せて表 2 に示されてある。

海氷のカテゴリーはWMO (1970)の海氷分類に基づいている。およそ0.1mよりも厚い一年氷は氷厚に応じて薄い板状軟氷（young grey ice 0.1-0.15 m）、並の一年氷（first year ice 0.7-1.2 m）などと分類される。一方、0.1 mよりも薄い氷は一般に種類によって晶氷（frazil ice）、スポンジ氷（shuga）、グリースアイス（grease ice）、ニラス（nilas）などと分類される。多年氷についてはただ一つのカテゴリーとしている。その他に砕け氷（brash ice）のカテゴリーもある。これはうねりの影響を受ける領域、リッジが崩壊する領域の氷盤間でよく見られる氷である。

図 2.　船体の側面で横転した氷盤の例

2-2-3.氷厚(z)

氷厚は 3 つの主要な氷種の各々に対して見積もりを行う。観測にあたっては、氷厚を見積もる指標として直径が分かっているゴムブイを舷側約1 mの高さに吊り下げておくと便利である。そうすると船体の周囲で側面が上になるように横向きに回転して流れゆく氷盤に対して氷厚を大変精度良く見積もることが可能である（**訳注**：**図 2**）。ここで注意すべきは平坦氷、リッジがあればリッジ間の平坦氷の氷厚のみを見積もることである。

これは、船がリッジに衝突するとリッジは構成する個々の氷ブロックに分解する傾向があり、実際のリッジの氷厚の見積もりは困難となるためである。リッジ化した氷盤の氷厚を求めるためには、リッジ部の占める面積と平均氷高（mean sail height; 雪面上の高さ、図 4 参照）の観測（2-2-5 節）結果を平坦氷の氷厚データとともに簡易なリッジモデルに入力して計算する（2-3-3 節）。

海洋―大気間の熱交換にとってとりわけ重要なのは比較的薄くて積雪に覆われていない海氷のカテゴリーである。このカテゴリーは熟練した観測者であれば外観上のアルベド（白さの度合い）から高い信頼性をもって分類することができる。一方、非常に厚い氷盤の厚さはフリーボード（海面から海氷表面までの高さ）によって見積もることもできる。十分に注意深く観測すれば精度は実際の氷厚値の 10 – 20 %以内であり、観測回数が十分あれば海氷域の特徴をよく表した統計値を与えることが十分期待される。このことは放射フラックスや乱流熱フラックスにとってその変動が大変重要な意味合いを持つ（例えば Worby and Allison ,1991）。

科学研究を目的とした航海では平坦氷上でもリッジを横切る時にも海氷や積雪の厚さを現場で定期的に観測することは通常可能であり、船上目視観測の検証にもなる。Worby et al. (1996)は現場と船上観測を結合することにより、ベリングスハウゼン海の氷厚分布を見積もる手法を示した。科学研究を目的とした航海では通常データの品質を最優先して航路を選択することができるが、船舶が航行の容易さを優先して航路を選択する時には妥協が必要とされる場合もある。船舶が優先的にリードに沿った航路を取る時、データ処理の際に考慮に入れられるよう、観測者は観測シートに明確にその旨記入する責任を負う。

2-2-4.氷盤の大きさ(f)

氷盤の境界の位置がいつも明瞭というわけではないため、氷盤の大きさを定めるのは困難なこともある。クラックやリードは氷盤の境界の輪郭を明確化するのに対してリッジは輪郭を不明瞭にする。小さな氷盤がお互いに凍結して大きな氷盤を形成する所では、形成された大きい氷盤の寸法を計測するが、通常個々の小さな氷盤が見られることを示すコメントを記入する。2 つの氷盤が結合してリッジを形成する所では、結合した氷盤の大きさを計測する。おおよその目安として、もし A 点から B 点まで歩行することができれば、両点は同じ氷盤上の点にあるとみなす。この判断基準は時に氷盤の大きさを定める際に助けとなる。船舶の長さ（多くの砕氷船で約 100 m）もまた氷盤の大きさの見積もりの良い指標となる。非常に大きな氷盤の大きさを定める際には船舶レーダーが有用な時もある。

氷盤の大きさは 100 と 700 の間のコードを用いて記録される。新しく生成したシート状の氷（new sheet ice）のコード（200）は通常ニラスのために用いられる。このコードは氷盤の大きさを特定せず、再結氷したリードやポリニヤを記述するためのものである。表面起伏のコード 100（平坦氷）と 400（finger rafting）と組み合わせて用いられることが多い。

2-2-5.表面起伏(t)

上述したように海氷厚の見積もりは氷盤中の平坦な部分についてのみ行う。これは、リッジが船舶に当たった時に側面が上になるように横向きに回転するよりもむしろリッジを構成する氷ブロックに砕けて分解する傾向があるため、リッジの氷厚を船舶から信頼性をもって見積もることはできないためである。しかしながら、リッジを横切る測線に沿ってドリルで穿孔して測定した氷厚観測の結果によれば、リッジ内に積み重なった海氷の総量が海氷域の全海氷量の大部分を占める。このため海氷域内のリッジの占める領域を定量的に見積もることは重要である。この目的で、リッジ部の面的な広がりと平均氷高（mean sail height）を海氷域内の各々の海氷のカテゴリー毎に記録する。表面のリッジ部の面積比は 10%単位で見積もる。この際、観測者は観測する海氷が船舶から遠過ぎない距離にあることが重要である。あまりに遠方の海氷はリッジの頂上部のみが見えてリッジ間の平坦氷はよく見えないためである。このような海氷は実際よりも甚だしく変形した氷のような誤った印象を与える可能性がある。平均氷高は 2 m までは 0.5 m 単位で、2m 以上は 1 m 単位で見積もりを行う。ここで記録するのは平均の氷高であることに留意するのは重要である。曇天の均一な太陽光のもとでは起伏の見積もりが困難なケースもある。我々の経験によればリッジの高さはブリッジから見た遠近感により一般に過小評価しがちである。

リッジは 500 から 897 の間の 3 つのコード数字を用いて分類される。一桁目の数字 (5-8) はリッジの種類を記述し、十分固化していないもの（unconsolidated）、十分固化したもの（consolidated）、風化したもの（weathered）に分類する。これはリッジの外観によって決定するが、リッジの氷上部の密集度が有用な判断材料となる。二桁目の数字（0-9）はリッジの占める面積比を記述し、三桁目の数字（0-7）は平均氷高を 0.5 m 単位で最も近い値を記録する。これらの観測は船舶から行う目視観測の項目のうちでおそらく最も主観的であるため、観測者間で照らし合わせて標準化することが殊に重要である。

表面起伏の観測はのちに 2-3-3 節で記述するモデルに入力してリッジ内に含まれる海氷の総量の見積もりに用いられる。

2-2-6.積雪の種類（s）

これは氷盤上の積雪の状態を記述する。2-3-4 節で議論する面積平均した海氷域のアルベドを評価するために重要な要素である。積雪は 0 と 10 の間の数字で分類される。精度の良い表面アルベドを計算するため、積雪の分類は表面積雪で行う。この故に、新雪が年月を経た風成雪上に積もる場合には分類コードは新しく降り積もった積雪と記述されるべきである。一方で全積雪深を記録することもまた大変重要である。

2-2-7.積雪深（sz）

積雪深の見積もりは 3 つの海氷カテゴリー各々に対して行う。積雪深は船体に沿って側面が上向きになるように回転した氷盤に対して割合直接的に計測可能である。とは言え、とりわけ積雪層の底面が冠水していたり雪ごおり（**雪が海水に浸かって凍った、気泡が多く白い不透明な氷**）が形成されていたりする場合には海氷/積雪間の境界が見分けにくい場合もある。

2-2-8.海水面の形態（o/w）

海水面の形態コードは氷盤間のクラックやリードの大きさを記述する。10 分位の数字であるが面積比を表すものではない。上述したように、リードの大きさを見積もる際に船舶の長さや幅が有用な指標となる。特に夜間には舶用レーダーもまた有用である。

2-2-9.気象観測

気象の現況は通常一時間毎に記録されるが、三時間毎に減らしてもよい。標準的な観測項目は水温、気温、真風向風速、全雲量、視程、それに現在天気である。ほとんどの研究観測船では水温、気温、風向風速はブリッジで表示されており、航海の期間中日誌に記録されているかもしれない。雲量は 8 分位、視程は船舶から km 単位で見積もられる。風速は m/s 単位で、風向は北に相対的な角度（360 度）で記録される。現在天気は二桁のコードで記録される（**訳注：表 4 参照**）。

2-2-10.写真記録

日中は氷況の写真を継続して記録することも可能であろう。写真は通常の観測時間にブリッジから撮影する。記録シートには写真とフレーム数を記録する欄がある。その他にも船体の手すりに取り付けたビデオカメラのフレーム数を記録する場所もある。これらの記録により航海期間の視覚的な氷況が保存される。写真記録は一般的には定量解析には用いられないが、船上観測と併用して用いると大変優れた参考資料となる。夜間は船舶の手すりに取り付けられた投光照明によって照らされた領域を見るようにカメラの角度を調整すると良い。

（訳注）できれば毎正時の観測時間にブリッジ乃至アッパーブリッジから左舷方向、船首方向、右舷方向の三枚の写真を撮影すると良い。目視観測の状況証拠ともなりうる（図 3）。

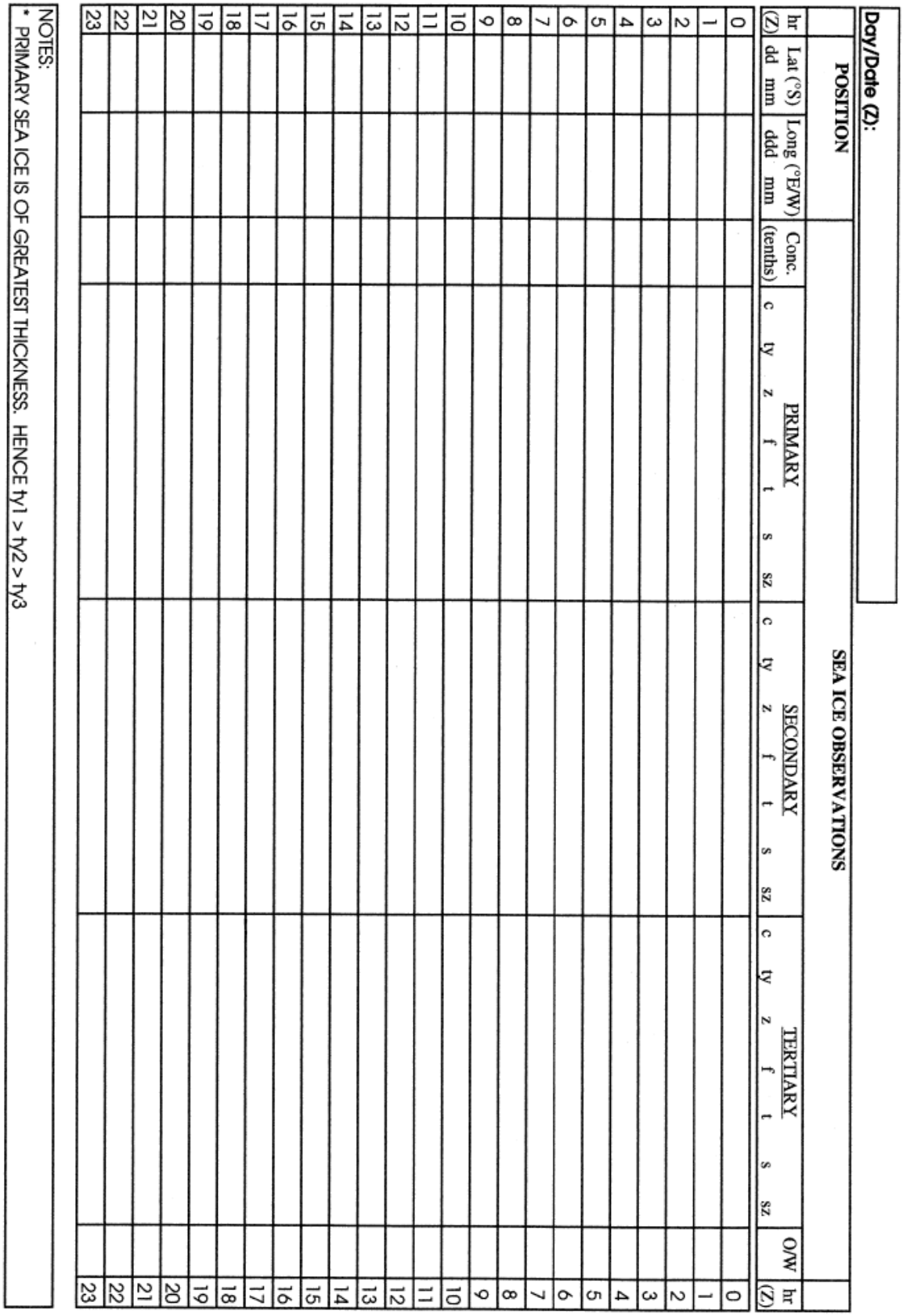
図 3 オホーツク海南部で巡視船「そうや」から撮影された写真の例

（左から順に左舷方向、船首方向、右舷方向）

2-2-11.注釈欄

コードで記録される毎時観測項目に加えて、追加する注釈を記録する欄もある。ここには海氷域の特性、特に暗いニラス上のフロストフラワー（風が弱く低温の条件下、発達初期の海氷の表面で成長した氷の結晶の塊、5 節の写真参照）や海氷域に侵入するうねりのような観測コードでは表現できない特徴の概略を記入する。データサンプリングやブイ設置など他の観測活動に関する概要もまた記録すると良い。もし必要であれば船舶の航路に沿った海氷がどの程度周囲の海氷域を代表しているかなどの注釈があると良い。

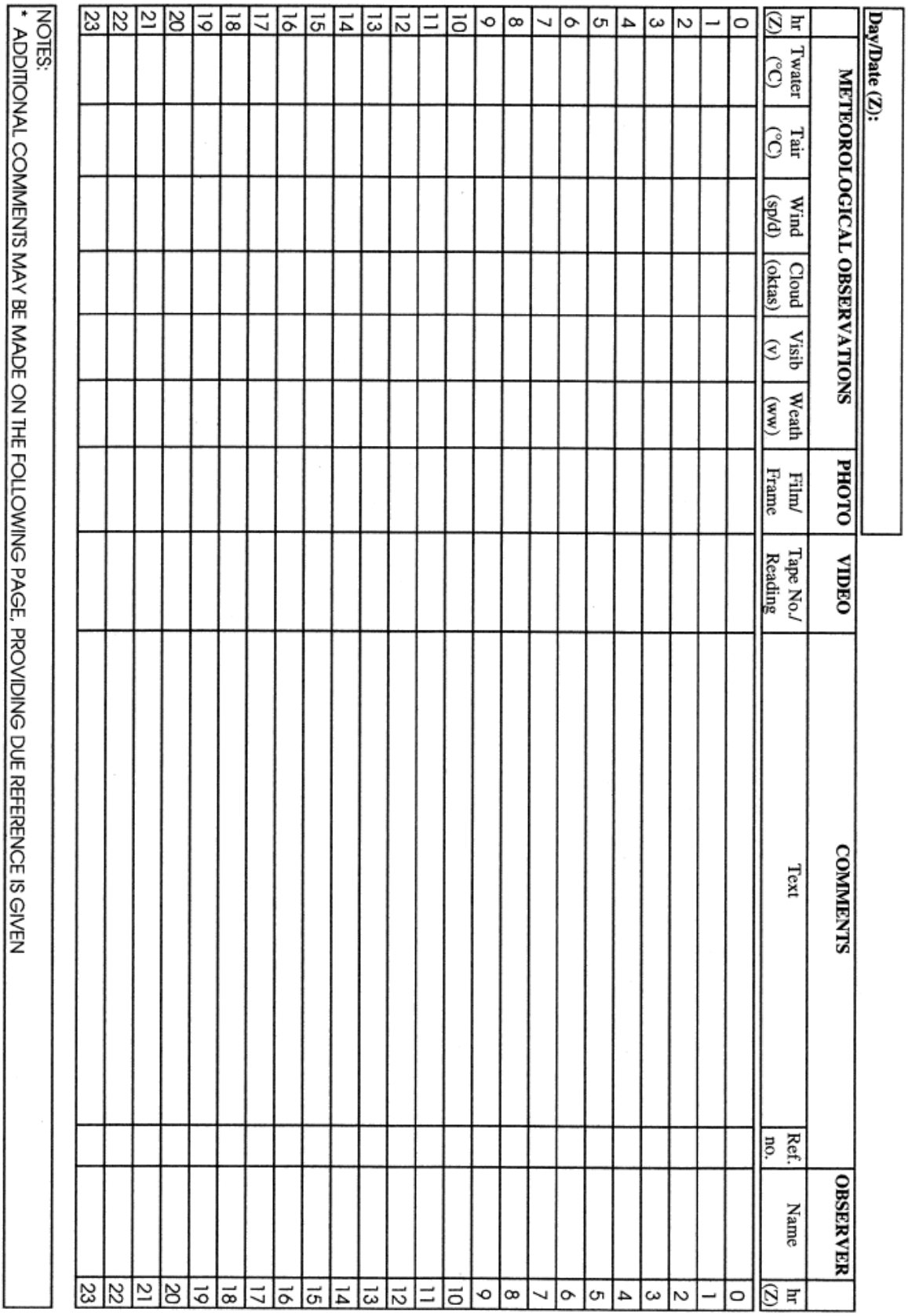
表 1.ASPeCt の観測シート(1)



Day/Date (Z):

| POSITION | | | SEA ICE OBSERVATIONS | | |

表 1.ASPeCt の観測シート(2)



Day/Date (Z):

METEOROLOGICAL OBSERVATIONS						PHOTO	VIDEO	COMMENTS		OBSERVER	
hr (Z)	Twater (°C)	Tair (°C)	Wind (sp/d)	Cloud (oktas)	Visib (v)	Weath (ww)	Film/ Frame	Tape No./ Reading	Text	Ref. no.	Name	hr (Z)
0												0
1												1
2												2
3												3
4												4
5												5
6												6
7												7
8												8
9												9
10												10
11												11
12												12
13												13
14												14
15												15
16												16
17												17
18												18
19												19
20												20
21												21
22												22
23												23

NOTES:

* ADDITIONAL COMMENTS MAY BE MADE ON THE FOLLOWING PAGE, PROVIDING DUE REFERENCE IS GIVEN

表 2.ASPeCt の観測コード表

ICE TYPE (ty)
10 Frazil
11 Shuga
12 Grease
20 Nilas
30 Pancakes
40 Young grey ice, 0.1-0.15 m
50 Young grey-white ice, 0.15-0.3 m
60 First year, 0.3-0.7 m
70 First year, 0.7-1.2 m
80 First year, >1.2 m
85 Multiyear floes
90 Brash
95 Fast ice

FLOE SIZE (f)
100 Pancakes
200 New sheet ice
300 Brash/broken ice
400 Cake ice, <20 m
500 Small floes, 20-100 m
600 Medium floes, 100-500 m
700 Large floes, 500-2000 m
800 Vast floes, >2000 m

TOPOGRAPHY (t)
100 Level ice
200 Rafted pancakes
300 Cemented pancakes
400 Finger rafting
5xy New, unconsolidated ridges (no snow)
6xy New ridges filled with snow or a snow cover
7xy Consolidated ridges (no weathering)
8xy Older, weathered ridges
x values:
0 0-10% areal coverage
1 10-20%
2 20-30%
3 30-40%
4 40-50%
5 50-60%
6 60-70%
7 70-80%
8 80-90%
9 90-100%
y values:
1 0.5 m av. sail height
2 1.0 m
3 1.5 m
4 2.0 m
5 3.0 m
6 4.0 m
7 5.0 m

SNOW TYPE (s)
0 No snow observation
1 No snow, no ice or brash
2 Cold new snow, <1 day old
3 Cold old snow
4 Cold wind-packed snow
5 New melting snow (wet new snow)
6 Old melting snow
7 Glaze
8 Melt slush
9 Melt puddles
10 Saturated snow (waves)
11 Sastrugi
OPEN WATER
0 No openings
1 Small cracks
2 Very narrow breaks, <50m
3 Narrow breaks, 50-200 m
4 Wide breaks, 200-500 m
5 Very wide breaks, >500 m
6 Lead/coastal lead
7 Polynya/coastal polynya
8 Water broken only by small scattered floes
9 Open sea

ICE CONC[n] (c)
to be expressed in tenths

SEA ICE (z) AND SNOW THICKNESS (sz)
to be expressed in centimetres

2-3.データ入力と処理（南極海氷域、Worby and Allison (1999)より必要箇所を抜粋）

2-3-1.品質管理

データの中に誤りや矛盾があるかどうかをチェックする。これらは例えば次のようなものである。

- 氷厚よりも積雪深が厚い。
- 薄い氷の種類に属する海氷の氷厚が 0.1 m 以上。
- 全体海氷密接度が 10 以上である、あるいは 3 つの主要なカテゴリーの海氷密接度の合計が全体海氷密接度と一致しない。
- 氷厚のカテゴリーと氷厚の見積もり値が合致しない。
- 表面起伏や氷盤の大きさのコードが海氷の種類と相容れない（例えば、ニラス上に十分固化したリッジなど）
- 主要氷種の氷厚が第二氷種あるいは第三氷種の氷厚よりも薄い。
- 連続する毎時観測の位置が 20 km 以上離れている。

2-3-2.データの編集

前の観測点との距離がある決められた値よりも小さければその観測を除外するようにデータを編集しても良い。これは船速が落ちる厚い海氷の領域では観測頻度が多くなり、バイアスがかかることを防ぐためである。その距離は通常 6 海里に設定される。これはほとんどの砕氷船が普通の海氷域で航行する際に維持可能な船速 6 ノットで一時間航行した場合の直線距離に相当する。

船舶が明らかに航行しやすい航路を選択することによるバイアスがかかっている場合にも観測データは除外される。この最もよくある例が氷縁付近、それに船舶が絶えずリードに沿った航路を選択している時である。このバイアスは海氷研究を目的とした航海であれば通常避け得るが、そうでない場合には問題となるかもしれない。データにバイアスがかかっているかもしれないと注釈をつけるかそのような状況下ではデータを記録しないとするかは観測者の裁量に任されている。

2-3-3.領域平均の海氷厚と積雪深の見積もり方

領域平均の海氷厚と積雪深の見積もりは海氷に覆われた領域、あるいは部分的に開放水面を含んだ海氷域全体に対してのみなされる。上述した最小距離のルールによって削られていなければそれぞれの観測点のデータは同等に扱われる。各々の毎正時観測に対して、3 つの海氷カテゴリーについて見積もられた氷厚をそれぞれの部分海氷密接度で重みをつけて平均を取る。得られた値は海氷域内の平坦氷の平均氷厚を与える。

リッジ内の海氷の総量を求めるには、2-2-5 節で記述した観測データを単純化されたモデルに適用してリッジを含む平均氷厚（Zr）を計算する。モデルの入力パラメータは変形を受けていない氷盤の氷厚（Zu）、平均氷高（S）、そして海氷表面をリッジ部が占める面積の割合（R）であり、セイルの形状は三角形でアイソスタシーの下、海水面上に出た海氷＋積雪の厚さと海水面下の氷厚との比は 1:5 と仮定して、氷盤の平均氷厚（Zr）を計算する。セイルの形状が三角形の断面を持つという仮定はリッジ氷の実質的な氷厚を計算するために導出した Hibler et al. (1974)の定式化と矛盾がない。彼らの定式化においてはリッジの傾斜角を 26º に固

定したが、ここではリッジ部が占める面積の割合とセイルの平均高に応じて様々な傾斜角を取り得ると設定している。このようにして、より広くて平坦なリッジが存在することになるが、この設定は一旦ある決まった高さに達したリッジは水平方向に構築されてゆく（Tucker and Govoni, 1981）とした理論と矛盾がない。従って、三角形の形状をしたリッジの仮定は大きな間違いではないように思われる。海氷密度に関する文献は少ないが、Buynitskiy (1967)は東南極域の海氷の平均密度は夏季で 875 kg m^{-3}、冬期は 920 kg m^{-3}と見積もった。これらの値はモデルの定式化で用いた 900 kg m^{-3}の値と矛盾しない。静水圧平衡の仮定は大規模なスケールでは成立せねばならないが、リッジの周囲に雪が吹き溜まる効果は観測においてもモデルにおいても誤差を生み出すかもしれない。特に、観測者がリッジのセイルと近くにできた雪の吹き溜まりを区別することは困難な場合もある。このため、リッジの占める面積の割合（そして多少はその高さも）雪に覆われた領域も含んでしまうことも考え得る。このことは海水面上の海氷と積雪全体の厚さに対する海水面下の海氷厚の厚さの比率で定義される r の値に影響を及ぼす。このため、リッジのセイルは 900 kg m^{-3}の密度を持つ固体の氷であるという仮定は正しくなく、このことはモデルの中では（**rの値を調整することにより**）説明される。

リッジの近くでの r を決定するために、リッジを横切る測線に沿ってドリルで穿孔して測定した氷厚データを調べた。ここでピークが 0.5 m 以上のフリーボード（**訳注：海氷表面の海面からの高さ**）を持つ測線あるいはその一部のみ考慮して平均の氷厚と積雪深を計算した。9 本の測線に沿って得られた全 339 個のドリル孔のデータから平均海氷厚は 1.18 m、平均積雪深は 0.16 m と見積もられた。海氷の密度は 900 kg m^{-3}、積雪の密度は 360 kg m^{-3}と仮定して平均喫水厚は 1.12 m と計算された。こうしてリッジ氷の領域では r=5 と見積もられる。積雪密度は東南極海氷域への２つの航海で収集されたデータから見積もられた平均値 360 $\pm$110 kg m^{-3} (120–760 kg m^{-3})に基づいている。

ここでリッジ内の海氷の厚さのみを見積もるためには計算から積雪を取り除く必要がある（**積雪深は平坦氷と同じと仮定しているため**）。海水面上の海氷の厚さに対する海水面下の海氷の厚さの比は、上述した平均海氷厚と平均積雪深のデータに基づいて

$$\mathrm{r}' = [1 - (0.16/1.18)] \cdot \mathrm{r} = 4.3$$

と定まる。$\mathrm{r}' = 4.3$の値は Lange and Eicken (1991)と Wadhams et al. (1987)によるドリル穿孔によって得られた結果を基に Dierking (1995)が用いた値 4 と良く合致する。

リッジを含む氷盤の平均氷厚はこのモデルにより次式のように定式化される。

$$\mathrm{Z_r} = (\mathrm{r}' + 1)(0.5\mathrm{RS}) + \mathrm{Z_u}$$

ここで R は表面におけるリッジ部の面積比、S はリッジの平均氷高（sail height）、Zu は氷盤内の変形を受けていない氷（平坦氷）の氷厚である（**図 4**）。

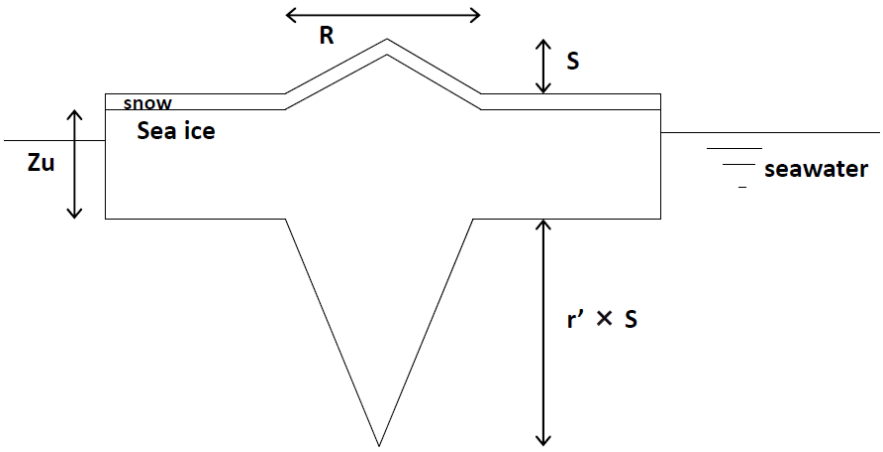


図 4. リッジ部の氷厚を見積もるための簡易リッジモデルの概念図（訳注）

2-3-4.面積平均のアルベドの計算手法

面積平均のアルベドは各々の海氷の種類に対する部分海氷密接度と全波長アルベドから計算される。様々な海氷や積雪の厚さのカテゴリーに対する全波長アルベドは当初は Allison et al. (1993)から採択されたが、これらの値は最近更新された（**注釈**：Brandt et al., 2005、**表 3**）。平均アルベドは毎正時の観測データから開放水面を含む全海氷域にわたって計算される。他にも観測点毎の平均アルベドから緯度毎の平均値を算出する利用方法も考えられる。

表 3. 東南極海氷域の春季と夏季における海氷の種類別の代表的な全波長表面アルベド
表中、太字は観測による。その他は内挿あるいは外挿から推定したもの。
SON: 9～11 月、DJF: 12～2 月 (Brandt et al. (2005)より引用)

Ice type	Ice thickness (cm)	No snow		Thin snow (<3 cm)				Thick snow (>3 cm)			
				Clear		Cloudy		Clear		Cloudy	
		Clear	Cloudy	SON	DJF	SON	DJF	SON	DJF	SON	DJF
Open water	0	**0.07**	**0.07**	—	—	—	—	—	—	—	—
Grease	<1	**0.09**	**0.09**	—	—	—	—	—	—	—	—
Nilas	<10	**0.14**	**0.16**	**0.42**	**0.39**	**0.45**	**0.42**	—	—	—	—
Young grey ice	10–15	**0.25**	**0.27**	0.55	0.51	0.59	0.56	0.72	0.67	0.76	0.72
Young grey-white ice	15–30	0.32	0.34	0.64	0.59	0.68	0.64	0.76	0.70	0.81	0.76
First-year ice <0.7 m	30–70	0.41	0.45	**0.74**	**0.69**	**0.79**	**0.74**	0.81	0.75	0.87	0.82
First-year ice >0.7 m	>70	**0.49**	**0.54**	**0.81**	**0.75**	**0.87**	**0.82**	**0.81**	**0.75**	**0.87**	**0.82**

2-4. 北極海氷域用の観測プロトコル

北極海氷域においても南極海氷域と同様、標準的には観測者は船橋から毎正時に観測を行う。北極海氷用に船上海氷観測を標準化する作業は Arctic Ice Watch 計画により進められており、ASSIST (Arctic Shipborne Sea Ice Standardization Tool)という管理運用ソフトウェアが構築されている。（http://www.iarc.uaf.edu/icewatch/assist）観測プロトコルは基本的には ASPeCt に準拠しており、ここでは北極海氷用に追加された項目について記載する。

＊メルトポンド（パドル）

メルトポンドの密接度	十分位
メルトポンドのパターン	1. linked 2. discrete
メルトポンドの表面の種類	1. Frozen (dry or wet snow) 2. Open 3. Bottom up
メルトポンドのフリーボード	centimeters
メルトポンドの水深	centimeters
メルトポンドの底面の種類	1. Solid 2. Some have thaw holes 3. All have thaw holes
かわき氷の様子	記述式
蜂の巣状氷の様子	記述式

＊アイスアルジとセディメント

アイスアルジの濃度	0. 0　1. <30　2. <60　3. >60%
アイスアルジの密度 （下のカラーメニューを参照）	0. Not visible 1. Trace　2. Light 3. Medium　4. Strong
アイスアルジの位置	10. Top　20. Middle 30. bottom
セディメントの濃度	0. 0　1. <30　2. <60　3. >60%

・アイスアルジの密度のカラーメニュー

1. Trace (< 3)　2. Light (~ 4.5)　3. Medium (~ 10)　4. Strong (~30 mg chl a m^{-2})

その他にも、気象観測で雲の種類を観測すること、上層雲・中層雲・下層雲別に雲量を観測する点にも特色がある。観測項目およびコード表は次頁の表 4 を参照されたい。

（注）アイスアルジ：海氷中に存在する様々な単細胞藻類を総称したもの

セディメント：堆積物

表 4.ASSIST の観測コード表(1)

ASSIST Data Fields/Codes

Data fields and lookup tables used in observations.

*All ASSIST observation parameters are listed below with header codes ( ), descriptions, and data codes with values. * = P, S, or T (if Primary, Secondary, or Tertiary ice, respectively. Units of measurement are noted when necessary. No observation is recorded as blank.*

GENERAL

PRIMARY OBSERVER (PO)
ADDITIONAL OBSERVER/S (AO)
Full name
Add your name to the menu on first observation.

OBSERVATION DATE/TIME (Date)
YYYY-MM-DD HH:MM:SS UTC
Converts computer time to UTC automatically.

LATITUDE (LAT)
LONGITUDE (LON)
DDD.DDD or DDD MM SS or DD MM.MMM
Converts to decimal degrees automatically.

SHIP HEADING (ShH) degrees
Nearest degree

SHIP POWER (ShP)
Not Specified
0
1/4
1/2
3/4
Full

SHIP SPEED (ShS) knots
Nearest knot

SHIP ACTIVITY (ShA)
Not Specified
10 :: Traveling in leads
20 :: Traveling in ice
30 :: Back and ramming
40 :: On station

FAUNA NAME (FN)
Common or scientific name

FAUNA COUNT (FC)
Number of reported species

NOTES (note0, note1, & note2)
Observer's notes
Use these three fields for additional observables you create

ICE

TOTAL ICE CONCENTRATION (TC) Tenths
PARTIAL ICE CONCENTRATION (*C)
0 :: 0/10
1 :: 1/10
2 :: 2/10
3 :: 3/10
4 :: 4/10
5 :: 5/10
6 :: 6/10
7 :: 7/10
8 :: 8/10
9 :: 9/10
10 :: 10/10

OPEN WATER (OW)
0 :: No openings
1 :: Small cracks
2 :: Very narrow breaks, <50m
3 :: Narrow breaks, 50-200m
4 :: Wide breaks, 200-500m
5 :: Very wide breaks >500m
6 :: Leads
7 :: Polynya
8 :: Water broken only by scattered floes
9 :: Open sea
10 :: Strips and patches

ICE TYPE (*T)
OTHER ICE TYPE THIN (OT)
OTHER ICE TYPE THICK (TH)
10 :: Frazil
11 :: Shuga
12 :: Grease
13 :: Slush
20 :: Nilas
30 :: Pancakes
40 :: Young Grey Ice, 10-15cm
50 :: Young Grey Ice, 15-30cm
60 :: First Year, <70cm
70 :: First Year, 70-120cm
80 :: First Year, >120cm
75 :: Second Year
85 :: Multiyear
90 :: Brash
95 :: Fast Ice

ICE THICKNESS (*Z) cm
Total ice thickness in cm

FLOE SIZE (*F)
100 :: Pancakes
200 :: New sheet ice
300 :: Brash/Broken ice
400 :: Cake ice, <20m
500 :: Small floes, 20-100m
600 :: Medium floes, 100-500m
700 :: Large floes, 500-2000m
800 :: Vast floes, >2000m
900 :: Bergy floes

SNOW TYPE (*SY)
00 :: No snow observation
01 :: No snow, ice or brash
02 :: Cold new snow, <1 day old
03 :: Cold old snow
04 :: Cold wind-packed snow
05 :: New melting snow(wet new)
06 :: Old melting snow
07 :: Glaze
08 :: Melt slush
09 :: Melt puddles
10 :: Saturated snow
11 : Sastrugi

SNOW DEPTH (*SN) cm
Depth of surface snow

TOPOGRAPHY TYPE (*Top)
100 :: Level ice
200 :: Rafted Pancakes
300 :: Cemented Pancakes
400 :: Rafting
500 :: Ridges

TOPOGRAPHY CONC (*TopC) Tenths
0 :: 0/10
1 :: 1/10
2 :: 2/10
3 :: 3/10
4 :: 4/10
5 :: 5/10
6 :: 6/10
7 :: 7/10
8 :: 8/10
9 :: 9/10
10 :: 10/10

RIDGE HEIGHT (*RH) m
To nearest half meter

TOPO FEATURE OLD?
TOPO FEATURE CONSOLIDATED?
TOPO FEATURE SNOW-COVERED?
Yes :: True
No :: False

MELT POND CONC (*MPC) Tenths
0 :: 0/10
1 :: 1/10
2 :: 2/10
3 :: 3/10
4 :: 4/10
5 :: 5/10
6 :: 6/10
7 :: 7/10
8 :: 8/10
9 :: 9/10
10 :: 10/10

MELT POND PATTERN (*MPP)
1 :: Linked
2 :: Discrete

MELT POND SURFACE TYPE (*MPT)
1 :: Frozen
2 :: Open
3 :: Bottom up

MELT POND FREEBOARD (*MPF) cm
Height of MP freeboard above MP surface

MELT POND DEPTH (*MPD) cm
1 :: 0-10cm
2 :: 10-30cm
3 :: 30-50cm
4 :: >50cm
-9 :: Unknown

MELT POND BOTTOM TYPE (*MBT)
1 :: Solid
2 :: Some have thaw holes
3 :: All have thaw holes

DRIED ICE? (*MDI)
ROTTEN ICE? (*MRI)
Yes :: True
No :: False

ALGAE CONC. (*A) %
SEDIMENT CONC. (*SD)
0 :: 0%
1 :: <30%
2 :: <60%
3 :: >60%

ALGAE LOCATION (*AL)
1 :: Top
2 :: Middle
3 :: Bottom

ALGAE DENSITY (*AD)
0 :: Not Visible
1 :: Trace
2 :: Light
3 :: Medium
4 :: Strong
See Colour Chart

表 4.ASSIST の観測コード表(2)

PHOTOS

PHOTO NAME (Photo)
Uploaded photo

PHOTO PERSPECTIVE (PhP)
Not Specified
Port
Forward
Other

COMMENTS

COMMENTS (COMM)
Observer's comments

METEOROLOGY

VISIBILITY (V) m-km
90 :: <50m
91 :: 50-200m
92 :: 200-500m
93 :: 500-1000m
94 :: 1-2km
95 :: 2-4km
96 :: 4-10 km
97 :: >10km

TOTAL CLOUD COVER (TCC) Oktas
HIGH CLOUD COVER (HV)
MEDIUM CLOUD COVER (MV)
LOW CLOUD COVER (LV)
0 :: 0
1 :: 1/8 or less, but not 0
2 :: 2/8
3 :: 3/8
4 :: 4/8
5 :: 5/8
6 :: 6/8
7 :: 7/8 or more, but not 8/8
8 :: 8/8

HIGH CLOUD TYPE (HY)
Ci :: Cirrus
Cs :: Cirrostratus
Cc :: Cirrocumulus

MED. CLOUD TYPE (MY)
As :: Altostratus
Ac :: AltoCumulus

LOW CLOUD TYPE (LY)
St :: Stratus
Sc :: Stratocumulus
Ns :: Nimbostratus
Cu :: Cumulus
Cn :: Cumulonimbus

HIGH CLOUD HEIGHT (HH) km
3-8km

MEDIUM CLOUD HEIGHT (MH) km
2-4km

LOW CLOUD HEIGHT (LH) km
Surface-2km

WIND SPEED (WS) Knot
Nearest knot

WIND DIRECTION (WD) Degree
Nearest degree

AIR TEMPERATURE (AT) °C
Nearest degree, C

WATER TEMPERATURE (WT) °C
Nearest degree, C

RELATIVE HUMIDITY (RelH)
Nearest %

AIR PRESSURE (AP) mBar
Nearest mBar

WEATHER (WX)

00-03 Sky Change During Past Hour
000 :: Clouds not observable/observed
001 :: Clouds dissolving/becoming less developed
002 :: State of sky as a whole unchanged
003 :: Clouds forming or developing

10-13 Mist and Shallow Fog
010 :: Mist (Visibility 1/2 nm or more)
011 :: Shallow fog in patches
012 :: Shallow fog, more or less continuous

14-16 Precipitation not at ship
014 :: Precipitation in sight, not reaching surface
015 :: Precipitation beyond 3nm, reaching surface
016 :: Precipitation within 3nm, reaching surface

20-29 Past Hour but NOT at Ob
020 :: Drizzle not freezing or snow grains
021 :: Rain not freezing or snow grains
022 :: Snow not freezing or snow grains
023 :: Rain and snow or ice pellets
024 :: Drizzle or rain, freezing
025 :: Showers of rain
026 :: Showers of snow, or of rain and snow
027 :: Showers of hail, or of rain and hail
028 :: Fog in past hour, not at present
029 :: Thunderstorm, with or without precip

36-39 Unique Snow Conditions
036 :: Drifting snow below eye level, slight/moderate
037 :: Drifting snow below eye level, heavy
038 :: Blowing snow, above eye level, slight/moderate
039 :: Blowing snow, above eye level, heavy

40-49 Fog at the Time of Ob
040 :: Fog: distance, not at ship in past hour** Vis may be >1/2nm
041 :: Fog in patches
042 :: Fog thinning in last hour, sky discernable
043 :: Fog thinning in last hour, sky not dicernable
044 :: Fog unchanged in last hour, sky discernable
045 :: Fog unchanged in last hour, sky not discernable
046 :: Fog beginning/thickening in last hour, sky discernable
047 :: Fog beginning/thickening in last hour, sky not discernable
048 :: Fog depositing rime, sky discernable
049 :: Fog depositing rime, sky not discernable

50-59 Drizzle
050 :: Slight drizzle, intermittent
051 :: Slight drizzle, continuous
052 :: Moderate drizzle, intermittent
053 :: Moderate drizzle, continuous
054 :: Dense drizzle, intermittent
055 :: Dense drizzle, continuous
056 :: Freezing drizzle, slight
057 :: Freezing drizzle, moderate or dense
058 :: Drizzle and rain, slight
059 :: Drizzle and rain, moderate or dense

60-69 Rain NOT Falling as Showers
060 :: Slight rain, intermittent
061 :: Slight rain, continuous
062 :: Moderate rain, intermittent
063 :: Moderate rain, continuous
064 :: Heavy rain, intermittent
065 :: Heavy rain, continuous
066 :: Freezing rain, slight
067 :: Freezing rain, moderate or heavy
068 :: Rain or drizzle and snow, slight
069 :: Rain or drizzle and snow, moderate/heavy

70-79 Solid Precip. Not as Showers
070 :: Slight fall of snow flakes, intermittent
071 :: Slight fall of snow flakes, continuous
072 :: Moderate fall of snow flakes, intermittent
073 :: Moderate fall of snow flakes, continuous
074 :: Heavy fall of snow flakes, intermittent
075 :: Heavy fall of snow flakes, continuous
076 :: Ice prisms, with/without fog
077 :: Snow grains, with/without fog
078 :: Isolated star like crystals
079 :: Ice pellets

80-84 Rain Showers
080 :: Slight rain showers
081 :: Moderate or heavy rain showers
082 :: Violent rain showers
083 :: Slight showers of rain and snow
084 :: Moderate/heavy showers of rain and snow

85-90 Solid Precipitation in Showers
085 :: Slight snow showers
086 :: Moderate or heavy snow showers
087 :: Slight showers of soft or small hail
088 :: Moderate/heavy showers of soft/small hail
089 :: Slight showers of hail
090 :: Moderate or heavy showers of hail

2-5.得られた成果例

ここではASPeCtのプロトコルで得られた成果の一端を紹介する。重要な成果の一つは南極海氷域の氷厚分布の全体像が初めて示されたことであろう。Worby et al. (2008)は1981年から2005年までに南極域で実施された81回の航海で得られた21,710個の目視観測データをASPeCtの様式に編集する作業を行い、南極海の氷厚分布を初めて描き出した。図5はこのようにして得られたリッジ部を加味した年間平均氷厚分布である。明らかにウェッデル海西部の南極半島沿岸とロス海東部の沿岸域で特に厚い海氷が存在することを示しており、最も厚い海域では平均氷厚は2 mを超える。その他の海域ではおおよそ氷厚は北部の氷縁域で0.3-0.5 m、沿岸域で約1 mとなっている。この分布は従来、数値モデルで予測されていた氷厚分布（例えばTimmermann et al. ,2002）と良く対応しており、観測データからようやく南極海氷厚分布の実態が確認された。しかしながら、現時点ではASPeCtのプロトコルに基づいた観測が実施され始めてから十分な年月が経過しておらず、年々変動を議論するためには更なるデータの蓄積が必要とされている。

一方、オホーツク海南部では1996年以降、北海道大学が海上保安庁と協同して巡視船「そうや」を用いた海氷観測を毎冬2月に実施しており、特に2001年以降はASPeCtのプロトコルに基づいた目視観測が継続されている（Toyota et al. ,2007）。オホーツク海は季節海氷域であり海氷の特性は多くの点で南極海氷に類似しているため、氷況の特性を把握するのにASPeCtプロトコルは有用と考えられる。2001～2015年の15年間に得られた546個の観測点の平均を取って得られた氷盤の大きさと氷厚カテゴリーの頻度分布を図6に示す。この図から、氷盤の大きさは2 kmを超える巨氷盤もごく数%存在するものの、2~20 mの板氷や新成氷（ニラス）が卓越しており、厚さは0.3～0.7mの薄い一年氷と厚さ0.1 m以下のニラスが卓越することが分かる。日本南極地域観測隊の「しらせ」の航路上でASPeCtプロトコルにより観測した結果によれば、卓越する氷盤の大きさは20~40 m、卓越する氷厚カテゴリーは0.7~1.2 mとなっており（大島ら、2006）、オホーツク海南部との違いが明瞭である。また、オホーツク海南部での15年間の観測から平坦氷の平均氷厚は0.29 m、リッジ部の平均氷厚は1.58m、リッジ部を含む平均氷厚は0.63 mと見積もられ、同様の手法によって求められた南極域全体における冬期の平均氷厚（平坦氷：0.38–0.49 m、リッジ部を含めた氷厚：0.54–0.72 m）(Worby et al., 2008)と比較すれば若干薄い状況が見て取れる。

このように、標準化された船上目視観測は各海氷域の特性を知るのに有用である上に、海域間の相互比較をある程度可能とすることが分かる。何よりの利点は、海氷に関する必要な知識さえあれば、あまり経費をかけることなく観測を実施できることと考えられる。今後更に継続することにより気候変動との関連が明らかにされることが期待される。

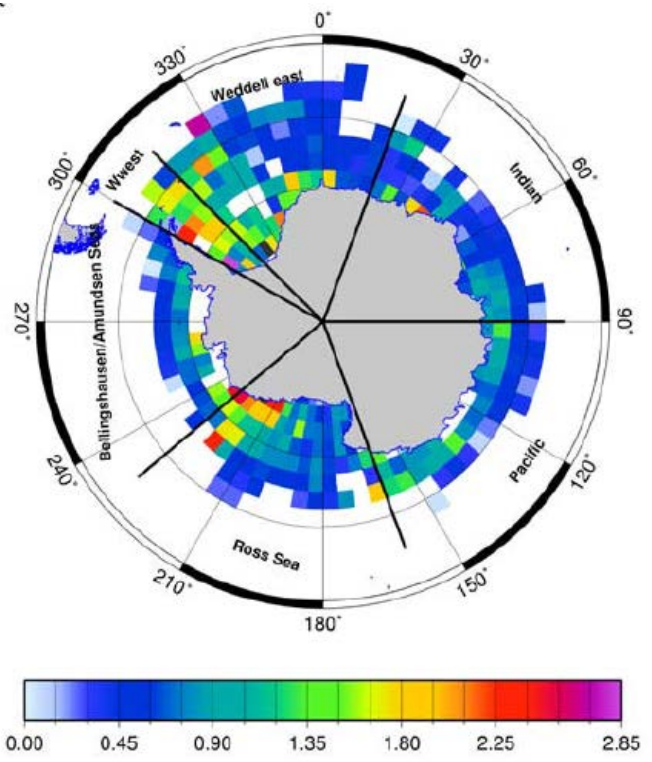


図 5.南極域におけるリッジを含む海氷厚の年平均値の分布（2.5ºlatx5.0ºlongrid）

（Worby et al. (2008)より引用）

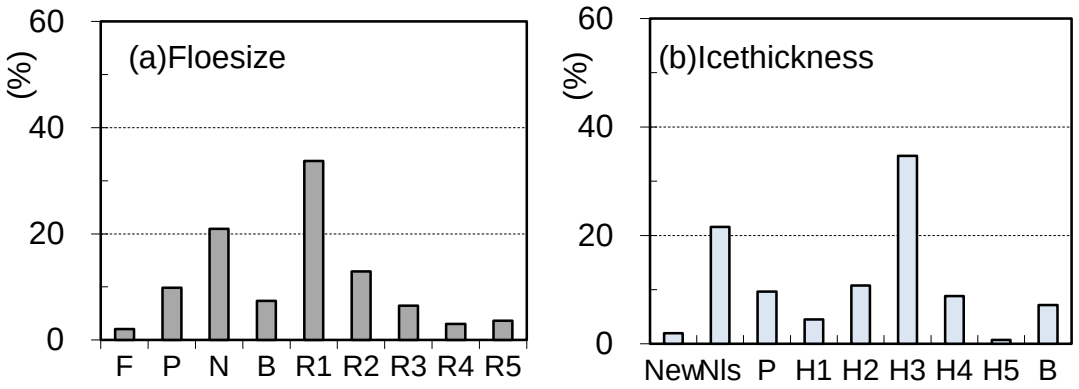


図 6. オホーツク海南部で 2001－2015 年に ASPeCt により観測された平均頻度分布

(a) 氷盤の大きさ（F: Frazil ice, P: Pancake ice, N: Nilas, B: Brash ice, R1: 2-20m, R2: 20-100m, R3: 100-500m, R4: 500m-2km, R5: >2km）

(b) 氷厚カテゴリー（New: New ice, Nls: Nilas, P: Pancake ice, B: Brash ice, H1: 10-15 cm, H2: 15-30 cm, H3: 30-70 cm, H4: 70-120 cm, H5: >120 cm）

3.沿岸海氷観測（気象庁海洋観測指針(2004)より）

沿岸海氷観測は、沿岸の定位置において定時に、海氷の状態を目視で観測するものである。即時通報により、船舶の安全航行等の沿岸防災に資する情報として利用される他、衛星等のリモートセンシングによる海氷観測のトゥルースデータとして、また、長期間にわたって継続的に観測された資料は、気候統計のための重要な資料となっている。

3-1.観測場所

観測場所は、広い海面や海岸線が望めるような高い所がよく、例えば庁舎の屋上などがよい。

3-2.観測種目

観測種目は全氷量及び海氷の分布状況、海氷現象の初・終日である。

3-3.観測時刻

定時観測は 9 時（中央標準時）に行う。ただし、海氷現象の初・終日を定時観測以外に観測した場合は、沿岸海氷観測月表の記事欄に記入する。

3-4.観測期間

定時観測を実施する期間は、原則として海氷が視界内に認められた日から目視できなくなった日までとする。

3-5.全氷量の観測

氷量は対象海域の面積に対し、その海域内に存在する全ての海氷の占める面積の割合を言う。氷量には実際の面積の割合を示す真氷量と、見かけ上の割合を示す視氷量がある。沿岸海氷観測では視氷量を観測し、視界内の全海域（港内も含める）に対しての視氷量を全氷量とする。定時観測では全氷量の観測を行う。

観測点における視界内の全海域に対し、この中に存在している全海氷の占める割合（氷量）を表 5 の階級で表す。これは地上気象観測の全雲量（10 分雲量）と同様の表現である。氷量は海氷の面積のみに関係し、氷の種類には関係しない。氷量の観測上、注意すべき点を次に述べる。

1. 水平線近くの海氷については、隙間の有無、その他の詳細がはっきりしない場合が多いので、無理な推定は避け、見たままの様子から氷量を決める。
2. 氷量の観測は海氷の種類を問わないので、目立つ厚みのある海氷に目を奪われて、新成氷など光沢が無く余り目立たない海氷を見落とすことのないようにする。
3. ふぶきや霧などに妨げられて視程が悪く、海面の一部しか見えない時は、見える範囲での氷量を観測する。この場合は氷量に括弧を付け、記事欄に「ふぶきのため視界内海面での観測」などと視程障害の理由を付記する。

表 5.全氷量の階級

通報コード	全氷量	視界内海面に占める海氷の割合
0	0	海氷がない
1	0^{+}	視界内海面に海氷はあるが１割未満
1	1	視界内海面の１割が海氷
2	2	視界内海面の２割が海氷
2	3	視界内海面の３割が海氷
3	4	視界内海面の４割が海氷
4	5	視界内海面の５割が海氷
5	6	視界内海面の６割が海氷
6	7	視界内海面の７割が海氷
6	8	視界内海面の８割が海氷
7	9	視界内海面の９割が海氷
7	10^{-}	視界内海面のほとんどが海氷に覆われているが隙間がある
8	10	視界内海面すべて海氷に覆われている
／	／	不明

3-6.沿岸海氷の分布状況の観測

沿岸海氷の分布状況の観測とは、定着氷・流氷の存在の有無、存在する範囲、および海氷域内の海水面（割れ目、水路など）の状況について観測することである。沿岸海氷の分布状況は、表 6（沿岸海氷観測通報式：JM305）の 11 階級で表す。

海氷は定着氷と流氷に大別されるが、状況によっては簡単に決められない場合がある。また、それは海氷現象の初・終日の定義にも関連するので、統一した取り決めをしておくことが必要である。

定着氷は海岸に接して定着している海氷で、その場の海水が凍結するか、流氷が海岸に固着して形成されたものである。

流氷は、定着氷を除く全ての海氷の総称であり、形状種別や氷塊の分布状況の如何に関係しないものである。したがって、北海道の沿岸では、観測点から遠く離れたオホーツク海北・中部などから漂流してきた流氷だけでなく、沖合で生成された新成氷や観測点付近の定着氷が離岸して漂流しているものも流氷に含まれる。また、沿岸からの観測では判然としないことが多いが、沿岸水路に新成氷が見られる場合、海岸から伸長しているような場合は定着氷とし、沖合の流氷野から延びている場合は流氷とする。

沿岸海氷の分布状況の観測で最も重要なものは沿岸水路の有無、すなわち流氷が接岸しているかどうかである。流氷到来期は定着氷と流氷の区別は容易であるが、流氷が接岸して動きがなくなったときや、接岸後に沖合に水路が開いたときなど、どこまでが定着氷で、どこからが流氷かの判断が難しいが、起源がよくわからない流氷として扱うこととする。ただし、流氷の本体が退去した後、海岸に座礁していたり、港内に流入してきた流氷が残っている場合は、流氷とせずに定着氷として取り扱うこととする。

表 6.沿岸海氷の分布状況（沿岸海氷観測通報式：JM305）

通報コード	沿岸海氷の分布状況
0	流氷がない
1	水平線上に流氷が見える
2	沿岸に定着氷域があり，水路をへだててその沖に流氷がある
3	沿岸は水路となって，沖合が流氷域となっている
4	沿岸は流氷域となって，その沖合には流氷がない
5	沿岸に流氷域があり，水路をへだててその沖合も流氷域となっている
6	沿岸の定着氷に流氷が接着している
7	視界内の海面はほとんど流氷域となっている
8	流氷は港にまでせまっている
9	流氷は港内にも入り込んでいる
／	不明
注	（1）該当する項目が２つ以上あるときは，数字符号の大きいほうを使用する。 （2）分布状況には氷量，密接度の大小は関係しない。ただし，数字符号７は氷量９以上の場合とする。

3-7.海氷現象の初・終日の観測

初・終日の観測は、その年の海氷の季節的な特徴を表すものである。海氷現象の初・終日などの観測種目とその定義は次のとおりである。

(1). 流氷初日

視界外の海域から漂流してきた流氷が、視界内の海面で初めて見られた日をいう。沖合で生成された氷や定着氷が離岸したものは、分類としては流氷であるが流氷初日の対象とはしない。

(2). 流氷終日

視界内の海面で流氷が見られた最後の日をいう。流氷の本体が視界外に去った後、沖合で見られる氷塊は、氷量に関係なく観測の対象とするが、港の周辺や海岸近くに残存するごく少量の氷塊は対象としない。

(3). 流氷接岸初日

流氷が接岸､または定着氷と接着して沿岸水路が無くなり船舶が航行できなくなった最初の日をいう。

(4). 海明け

全氷量が 5 以下になり､かつ沿岸水路ができて船舶の航行が可能になった最初の日。なお、沿岸水路ができた後、再び流氷が接岸し、この状態が 3 日以上続いた場合は、この期間の後の海明け状態になった日を海明けとする。また接岸と次の接岸との期間が 15 日以内で、しかも 2 日以内の接岸状態が繰返す場合は、最後の接岸期間の後の海明け状態になった日を海明けとする。しかし、全氷量 5 以下でも沿岸水路が無い場合は海明けとしない。

視野・水平線までの距離は観測点の高さによって決まるので、流氷の初・終日については、定時観測を行う観測点以外での観測は採用しない。また、終日はその現象が終わってからしばらくして再び現れることがあるので、一応現象が終わったものと考えても、確定するには数日間動向を見る必要がある。特に、平年より早い場合には、

平年値の日前後まで監視を続けるべきである。

3-8.原簿

沿岸海氷観測月表には、次の事項を記入・整理し、原簿として保存する。月表の記入例を表 7 に示す。海氷がない場合は全氷量は 0、この場合の海氷の分布状況はーと記入する。

1. 全氷量：表 5 の階級によって記入する。視程障害などで見える範囲での氷量は括弧を付け、不明の日については、×と記入する。
2. 沿岸海氷の分布状況 : 表 6（沿岸海氷観測通報式 : JM305）の通報コードで記入する。視程障害などのため不明の日については、×と記入する。
3. 記事：流氷初日や流氷接岸初日を観測した場合、あるいは全氷量が×や括弧付きの場合の視程障害の理由を記入する。
4. 海氷現象の初・終日及びその平年差・昨年差：現象の初日・終日及びその現象の平年差と昨年差を記入する。
5. 概況：月間の海氷状況を簡単に記入する。また、海氷による海難などが分かった場合は記入しておく。

表 7.沿岸海氷観測月表の記入例

2004年2月

沿 岸 海 氷 観 測 月 表

定時観測（０９時）　　○×地方気象台

日	全氷量	沿岸海氷の分布状況	記　　事
1	×	×	雪のため不明
2	5	3	
3	3	2	
4	10-	6	流氷接岸初日
5	10-	7	
6	10-	7	
7	10-	7	
8	9	6	
9	10-	7	
１０	6	3	
１１	4	3	
１２	5	3	
１３	3	3	
１４	10-	6	
１５	×	×	雪のため不明
１６	7	2	
１７	10-	6	
１８	10-	6	
１９	10-	6	
２０	10-	6	
２１	10-	6	
２２	7	2	
２３	8	2	
２４	10-	7	
２５	10-	7	
２６	(10)	(9)	雪のため視界内海面での観測
２７	3	3	
２８	0	—	
２９	0	—	
３０			
３１			

概　況

月を通して流氷に覆われた日が続いたが、月末には沖合いへ後退して流氷は視界外へ去った。

海氷現象初終日		平年差	昨年差
流氷初日	１月２３日	3日遅い	2日遅い
流氷接岸初日	２月　４日	12日早い	3日遅い
海明け	月　日		
流氷終日	月　日		

4、海氷用語（気象庁海洋観測指針(1999)より）

4-1.氷の種類に関する用語

浮氷（Floating ice）
　水に浮いているあらゆる形態の氷。海氷、陸氷、湖氷、河氷などがある。
海氷（Sea ice）
　海水が凍結してできた海で見られる全ての氷。
陸氷（Ice of land origin）
　陸上又は棚氷で形成され、水に浮いている氷。浅瀬や陸に乗り上げたり、接岸している氷も含む。
湖氷（Lake ice）
　観測された所に関係なく湖でできた氷。
河氷（River　ice）
　観測された所に関係なく河川でできた氷。

4-2.海氷の種類に関する用語

（発達過程）
新成氷（New ice）
　新しくできた氷に対する総称で、晶氷、グリース・アイス、雪泥、スポンジ氷などが含まれる。この種の氷は、凍結しているものの、ごくわずかの氷の結晶からできており、浮いている場合のみ一定の形になっている。
晶氷（Frazil ice）
　水中を浮遊する微細な針状あるいは板状の氷。
グリース・アイス（Grease ice）
　晶氷より後の凍結段階で、氷の結晶が互いに集まって水面にスープ状の層を作っている。また、光をあまり反射しないので海面は鈍く見える。
雪泥（Slush）
　陸上か又は氷の上で水を十分含んだ雪、又は多量の降雪の後の水中のねばねばした浮遊する雪の塊。
スポンジ氷（Shuga）
　直径数 cm の海綿状の白い氷の集合体。グリース・アイス、雪泥、時にはいかり氷（後述）が海面に浮上してできる。
ニラス（Nilas）
　薄い弾力のある表面が固い氷。表面は光沢がなく灰色に見える。厚さは 10 cm 未満で、波やうねりでたやすく曲げられ、横方向から強く押されると指を組み合わせたような形に重なり合う。厚さによって明るさが異なり、暗いニラス（dark nilas:厚さ 5 cm 未満）と明るいニラス（light nilas:厚さ 5cm 以上）とに分けられる。
氷殻（Ice rind）
　穏やかな海面で直接結氷するか、又はグリース・アイスから形成される。表面は固

く光沢をもって明るく見える。厚さはおおよそ 5 cm、風やうねりによってたやすく割れ、よく矩形の氷片になる。通常、塩分濃度の低い海水からできる。

はす葉氷（Pancake ice）（→流氷の形態）

板状軟氷（Young ice）

ニラスから一年氷への移行の段階で、厚さは 10～30 cm の氷、薄い板状軟氷と厚い板状軟氷とに分けられる。

薄い板状軟氷（Grey ice）

厚さ 10~15 cm の板状軟水で灰色を呈し、ニラスより弾力がなく、うねりによって破壊される。横からの圧力によって積み重なることが多い。

厚い板状軟氷（Grey-white ice）

厚さ 15~30 cm の板状軟氷で灰白色を呈し、横からの圧力によって積み重なるよりも隆起して氷丘脈を作ることが多い。

一年氷（First-year ice）

板状軟氷から発達し、一冬より長くは経過しない海氷で、厚さ 30 cm~2 m。

厚さによって薄い一年氷（白い氷）、並の一年氷、厚い一年氷に分類される。

薄い一年氷（白い氷）（Thin first-year ice／White ice）

厚さ 30~70 cm の一年氷。

並の一年氷（Medium first-year ice）

厚さ 70~120 cm の一年氷。

厚い一年氷（Thick first-year ice）

厚さ 120 cm をこえる一年氷。

古い氷（Old ice）

少なくとも一夏は融けずに残っている氷。厚さは 3m 以上のものが多い。表面は一年氷よりも滑らかになっている。一夏だけ経た二年氷（second-year ice）と二夏以上経過した多年氷（multi-year ice）とに分けられる。

（定着氷の形態）

定着氷（Fast ice）

海岸や氷河壁、浮氷壁に接して定着している海氷。座礁している氷山の間を埋めて動かない海氷を含む。水位の変化で垂直な上下動が見られる。定着氷はその場の海水が凍結するか、流氷が海岸に固着して形成される。幅は海岸から数 m～数 100 km に達する。定着氷は一年以上存在するものは年令によって分類される（古い、二年、多年）。海面上の高さが 2m 以上になれば棚氷と言う。

初期沿岸氷（Young coastal ice）

ニラスや板状軟氷からなる定着氷の初期の段階で、その幅は海岸線より数 m から 100～200 m に及ぶ。

氷脚（Icefoot）

沿岸に沿って固着した狭く長い氷で、潮汐によって動かされることもなく、定着氷が動き去った後も残っている部分。

いかり氷（Anchor ice）

海底に接触又は固着している水中の氷。

座礁氷（Grounded ice）

浅瀬に乗り上げた浮氷（座氷と比較）

座氷（Stranded ice）

満潮の潮が引いた後も、海岸に浮んでいたり居座ったりしている氷。

座礁氷丘（Grounded hummock）

座礁氷が氷丘状になったもの。単独のものと線状（又はくさり状）に連なったものとがある。

（流氷の形態）

流氷（Drift ice / Pack ice）

定着氷以外の全ての海氷域を含める広義の用語で、その形態や配置に関係しない。なお、英語では密接度が 7／10 以上の場合には、Drift ice の代りに Pack ice を用いてもよい。

はす葉氷（Pancake ice）

互いにぶつかり合って縁がまくれ上ったほぼ円形の氷塊。直径 30 cm～3 m、厚さは約 10 cm になる。グリース・アイス、雪泥、スポンジ氷などから弱いうねりでつくられたり、氷殻やニラスが壊れたり、波やうねりの激しい時は薄い板状軟氷がこわれたりしてできる。また、しばしばある深さで、物理的性質の異なった水塊間の境界面でできて表面に浮いてくることがあり、急速に広い海面を覆う。

氷盤（Floe）

直径が 20 m 以上の比較的平らな海氷塊、氷盤は広さによって以下のように分けられる。

巨大氷盤（Giant floe）直径 10 km 以上。

巨氷盤（Vast floe）直径 2～10 km。

大氷盤（Big floe）直径 500～2,000 m。

中氷盤（Medium floe）直径 100～500 m。

小氷盤（Small floe）直径 20～100 m。

板氷（Ice cake）

直径が 20 m 未満の比較的平坦な海氷。直径が 2m 未満の板氷を小板氷（Small ice cake）と呼ぶ。

氷盤岩（Floeberg）

一つの氷丘又は幾つかの氷丘が凍りついてできた大きな海氷塊で、周囲の海氷と離れている。高さは海面上 5m に及ぶものもある。

モザイク氷（Ice breccia）

いろいろな発達過程の氷が一緒に凍結している氷塊。

砕け氷（Brash ice）

直径 2m 以下の氷片で、さまざまな形に砕けた浮氷の集まっているもの。

（表面の特徴）

平坦氷（Level ice）

変形を受けていない平坦な海氷。

変形氷（Deformed ice）

互いに押し合い、所によっては押し上げ又は押し下げられたりして変形を受けた氷の総称で、いかだ氷、氷脈氷、氷丘氷に分けられる。

いかだ氷（Rafted ice）

氷塊が互いに重なり合っている変形氷の一種。

氷丘脈（Ridge）

圧力を受けて作られ、壊れた氷の山脈状あるいは壁状の部分。新しいものと風化したものとがある。圧迫によって押し下げられた氷脈の下の水中の部分はりゅう骨氷（Ice keel）という。

氷脈氷（Ridged ice）

氷片が不規則に積み重なり合って山脈状や壁状になった氷。通常一年氷に見られる。

氷丘（Hummock）

圧力によって押し上げられ壊わされた氷の丘。新しいものと風化したものとがある。圧力によって下方に押しつけられ、氷丘の下で壊わされた氷塊の水中の部分をさかさ氷丘（Bummock）という。

氷丘氷（Hummocked ice）

氷片が互いに不規則に積み重なった起伏のある海氷。風化されるとなだらかな丘陵状になる。

直立氷盤（Standing floe）

垂直あるいは傾斜して立っている単独の氷盤で、比較的平らな氷で囲まれている。

氷衝角（Ram）

氷河壁、浮氷壁氷山や氷盤から水面下に張り出した氷の部分。通常それらの氷の水面上の部分の激しい融解や侵食によってできる。

はだか氷（Bare ice）

積雪のない氷。

冠雪氷（Snow-covered ice）

積雪に覆われた氷。

（融解過程の氷）

パドル（Puddle）

氷上に融けた水が溜まったもので、主として積雪が融けたものであるが、さらに進んだ階段では氷自身の融解にもよる。初期の階段では融雪の斑点ができる。

底なしパドル（Thaw holes）

パドルが融けて下の海水まで突き抜けた海氷中の垂直な穴。

かわき氷（Dried ice）

クラックや底なしパドルができて、たまっていた融けた水が表面から流れ去った後の氷。乾燥している間は表面は白みがかっている。

はちの巣氷（Rotten ice）

融解や崩壊が進んではちの巣状になった海氷。

浸水氷（Flooded ice）

融水や河の水が浸み込み、水や湿った雪で重くなった海氷。

4-3.海氷の分布状況などに関する用語

（氷量・密接度）

氷量（Ice cover）

全球・半球あるいは特定の湾と言った、かなり広い海域で、その全海面に対して密集した海氷の占める比率を言う。

密接度（Concentration）

ある氷域に対し、その中の氷に覆われている海表面の占める割合（氷域中の平均の密集程度を示す）を 10 分位法で表わしたものを言う。氷域内の全ての氷を対象とした場合を全体密接度（total concentration）、特別な氷を対象とした場合を部分密接度（partial concentration）と言う。

全密接氷域（Compact ice）

密接度 $^{10}/_{10}$で、海水面が全く見られない氷域。

凍結密氷域（Consolidated ice）

密接度 $^{10}/_{10}$で、氷盤が互いに凍りついている氷域。

最密氷域（Very close ice）

密接度 $^{9}/_{10}$～＜$^{10}/_{10}$の氷域。

密氷域（Close ice）

密接度 $^{7}/_{10}$～$^{8}/_{10}$の氷盤の集まりからなる氷域。氷は大体接触している。

疎氷域（Open ice）

密接度 $^{4}/_{10}$～$^{6}/_{10}$で、多くの水路や氷湖がある氷域。氷は通常接触していない。

分離氷域（Very open ice）

密接度 $^{1}/_{10}$～$^{3}/_{10}$の浮氷。氷より水面のほうがはるかに多い。

開放水面（Open water）

航行可能な広い海域。密接度 1/10 未満であれば海氷または陸氷があってもよい。

氷山海面（Bergy water）

海氷はなく陸氷のみが存在する航行自由な海域。

無氷海面（Ice-free）

海氷も陸氷も全くない海面。どのような種類でも氷があればこの用語は使用しない。

（海氷の分布状況）

流氷野（Ice field）

いろいろの大きさの氷盤群からなる流氷域で直径は 10 km より大きいもの。大きさによって以下のように分ける。

大流氷野（Large ice field）直径 20 km を越える。

中流氷野（Medium ice field）直径 15～20 km。

小流氷野（Small ice field）直径 10～15 km。

流氷原（Ice patch）

直径が 10 km 未満の流氷域。

流氷帯（Belt）

幅 1 km から 100 km 以上に及ぶ長く大きな流氷の帯。

氷舌（Tongue）

風や海流によって氷の縁が舌状に長さ数 km に張り出したもの。

小氷帯（Strip）

幅が約 1 km かそれ以下で通常流氷の本体から分離した小氷片からなる細長い流氷帯。風、うねりあるいは海流の作用で寄り集まって漂流する。

入江（Bight）

氷の縁の中で広く三日月状に入り込んだ部分。風や海流によってできる。

アイス・ジャム（Ice jam）

狭い海峡に砕けた河氷や海氷がつまった状態。

氷縁（Ice edge）

海氷域と開放水面との境界。氷縁位置は時間と共に変化する。通常流氷域の風上側は密接した氷盤が明瞭な氷縁を形成するが、風下側は分離した氷盤が散漫な氷縁を形成する。

氷域境界（Ice boundary）

定着氷と流氷との間、又は異なる密接度の流氷域の間の任意の時刻における境界。（氷縁と比較せよ）

（氷域中の海水面）

割れ目（Fracture）

変形作用の結果、最密氷域、全密接氷域、凍結密氷域、定着氷、又は単独の氷盤に起こる切れ目や裂け目。割れ目には砕け氷があったり、ニラスや板状軟氷が張り詰めていることもある。長さは数 m から数 km に及ぶものもある。幅によって以下のように分類する。

微小割れ目（Very small fracture）幅 1～50 m。

小割れ目（Small fracture）幅 50～200 m。

中割れ目（Medium fracture）幅 200～500 m。

大割れ目（Large fracture）幅 500 m を越える。

クラック（Crack）

氷を互いに分離させるに至らない亀裂。幅数 cm～1 m。

タイド・クラック（Tide crack）

動かない氷脚あるいは氷河壁と定着氷との接合部にあるクラックで定着氷は潮汐によって上下する。

分離帯（Flaw）

流氷と定着氷との間の狭い亀裂で、その中は氷片が混乱した状態になっている。強い風や海流によって定着氷境界に沿って流氷が切り取られてできる。

割れ目域（Fracture zone）
　多数の割れ目のあるところ。
水路（Lead）
　海氷域の中で、海上の航行が可能な割れ目や、せまい通路。片側が海岸や定着氷に接している時には沿岸水路、分離帯水路と言う。
沿岸水路（Shore lead）
　流氷と海岸、あるいは流氷と浮氷壁との間の水路。
分離帯水路（Flaw lead）
　流氷と定着氷との間の航行可能な水路。
氷湖（Polynya）
　氷で囲まれた直線的な形でない海水面。氷湖には砕け氷があったり、新成氷、ニラス、板状軟氷で覆われていてもよい。一方の側が海岸や定着氷に接しているときには沿岸氷湖（Shore polynya）、分離帯氷湖（Flaw polynya）という。もし毎年同じ場所に現われるならば再現氷湖（Recurring polynya）という。

4-4.海氷に関係する大気中の現象の用語

水空（Wate rsky）
　低い雲の下面の暗い縞で、海氷域付近に海水面があることを示している。
氷映（Ice blink）
　遠方にある氷の集団の上の低い雲が白っぽく輝いて見える現象。
氷煙（Frost smoke）
　氷域中の海水面や氷縁の風下に現われる霧で、氷上を移動してきた寒気が、それより暖かい水面に接して生じたもので、氷が張るまで持続する。
幻氷（Mirage of ice）
　水温が異常に低い時などに起こる、水平線付近の氷が浮かび上がって見える一種のしん気楼現象である。

4-5.海上航行に関係のある用語

ビセット（Beset）
　船が氷にとり囲まれ動けない状態。
氷塞（Ice-bound）
　湾や入江などで、氷のために船の航行が砕氷船の援助がなければ妨げられる時に言う。ただし砕氷船の援助が可能なときには使用しない。
ニップ（Nip）
　氷が船を強く押しつけた状態。氷に挟まれている船が損害を受けていなくてもニップを受けていると言う。
圧迫氷（Ice under pressure）
　変形作用が活発に行なわれている氷で、そのため航行の障害や危険が起こる恐れがある。

難航氷域（Difficult area）

航行が困難なほど厳しい状態になっている氷域。

可航氷域（Easy area）

航行が容易な状態になっている氷域。

アイス・ポート（Iceport）

浮氷壁の湾入している所で、多くの場合一時的のもの。そこでは船は横付けして直接棚氷の上に荷揚げできる。

4-6.陸氷に関する用語

氷床（Ice sheet）

広大な陸地が厚い雪氷に覆われたもの。海面上に張り出して浮かんでいる棚氷を含めることもある。現在の地球上では南極大陸とグリーンランドに見られる。

氷河氷（Glacier ice）

氷河の中の氷、又は氷河が起源の氷。陸上にあるか海に浮いているかは問わない。

棚氷（Ice shelf）

海面上 2～50 m 又はそれ以上のかなりの厚さで、海岸に固着し浮いている氷床。普通、水平方向に大きく広がり、表面は平坦か緩やかな起伏をしている。年間を通しての積雪と、時には陸の氷河が海へ延びることによって生成する。氷の一部は底着していることもある。海側の縁は浮氷壁（Ice front）と呼ばれる。

陸氷の分離したもの（Calvedicel and origin）

氷山（Iceberg）

氷河又は棚氷から割れて海に流れ出したもので、海面上の高さが 5m 以上の氷塊。浮いていても座礁していてもよい。氷山はその形状から卓状型、ドーム型、傾斜型、せん塔型、風化型または氷河氷山などに分けられる。

氷河氷山（Glacier berg）

氷河から割れてできた氷山で、不規則な形をしている。

卓状氷山（Tabularberg）

頂上が平らな氷山。多くは棚氷から割れてでき、水平な縞が見られる。

（氷島と比較せよ）

氷山舌（Iceberg tongue）

海岸から張り出している氷山群の大集合域で、座礁したり定着氷で連結されていたりする。

氷島（Ice island）

北極海の棚氷が割れた海面上約 5 m の大きな浮氷で、厚さ 30～50 m、面積は数 km^2～500 km^2 またはそれ以上、通常表面は規則的起伏があり、航空機からはろっ骨状に見える。

氷山片（Bergy bit）

浮いている氷河氷の大氷片で、海面上の高さは 1～5 m で、面積は約 100 m^2～300 m^2 の広さである。

氷岩（Growler）

氷山片や氷盤岩より小さな氷塊で、しばしば透明であるか、緑がかったり、ほとんど黒っぽく見えたりする。海面上の高さは 1 m 未満で、広さは約 20 m^2である。

4-7.海氷に関するその他の用語

ブライン（Brine）

海氷の成長時に海氷中に閉じ込められた高濃度の塩水。ブラインは温度と塩分濃度との平衡関係を保つので、海氷の温度が変化すると氷の析出や融解が起こる。ブラインは次第に海氷から抜け落ちるために、古くなるほど海氷が含む塩分は少なくなる。

アイスアルジー（Ice algae）

海氷の中に棲む植物プランクトンの一種の小さな藻類（アルジー）。海氷の解ける春に爆発的に増殖して、海洋生物の餌の基礎となる。

5、海氷写真例

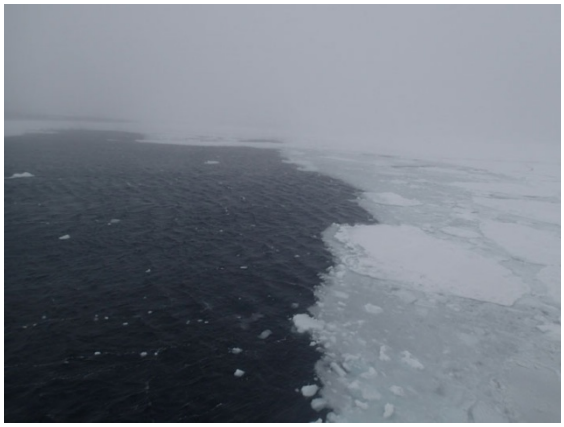
晶氷

(オホーツク海)

ニラス

(オホーツク海)

グリースアイス



(オホーツク海)

スポンジ氷

(オホーツク海)

はす葉氷

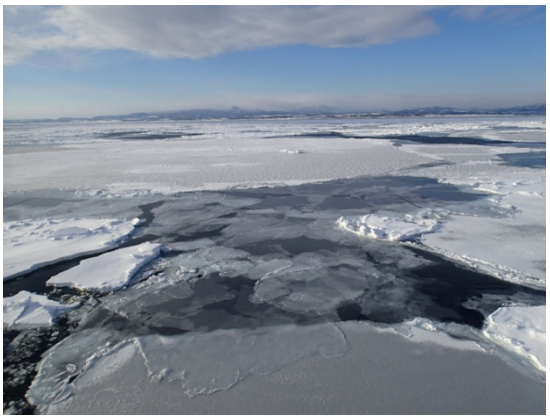
(オホーツク海)

(南極海)

雪に覆われた一年氷

(オホーツク海)

ニラス&板状軟氷

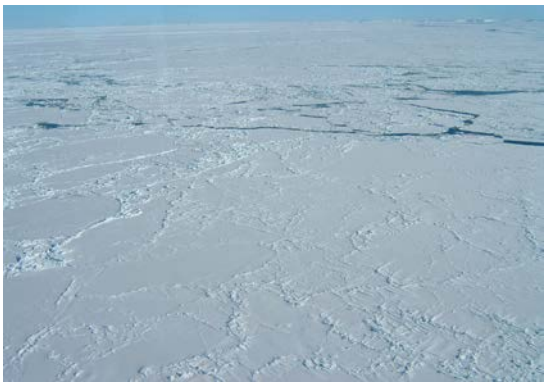


(オホーツク海)

小氷盤

(オホーツク海)

巨氷盤



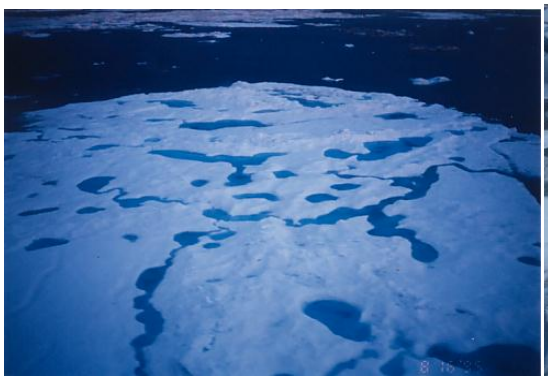
(南極海)

リッジ

(南極海)

(オホーツク海)

パドル



(北極海)

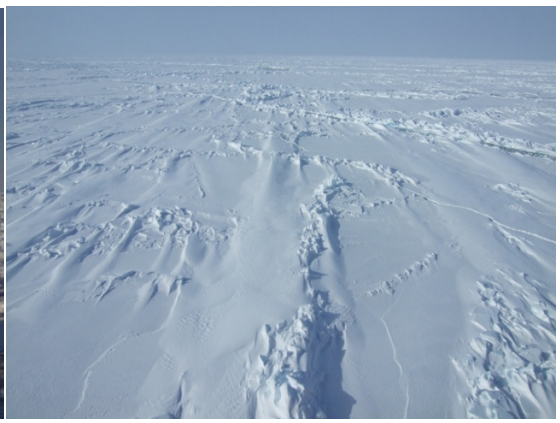
底なしパドル

(北極海)

氷山

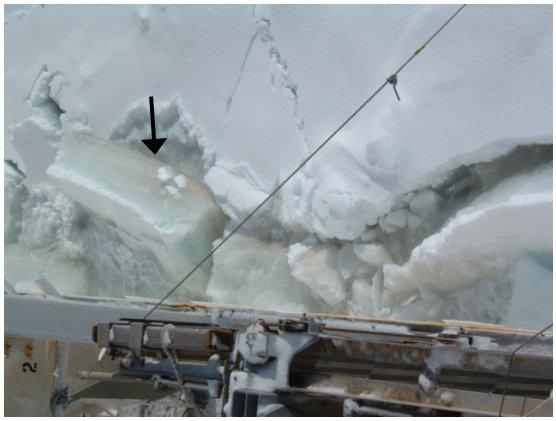
(南極海)

特徴的な雪面模様(デューン)



(南極海)

アイスアルジ



(オホーツク海)

＃矢印の褐色を呈した層に注目

フロストフラワー

(南極海)

＃個々の塊の大きさは高さと幅各々数cm程度である

#オホーツク海の写真は海上保安庁巡視船「そうや」の協力を得て撮影を行った。

謝辞

執筆には様々な方のお世話になりました。ASPeCt プロトコルのマニュアルの転載に関しては著者の Anthony Worby 氏 (豪・ACE CRC)から快諾を得ました。北極海氷向けの観測プロトコルに関しては Arctic Ice Watch 計画の中心メンバーの一人である Jennifer Hutchings 氏（オレゴン州立大学）から情報提供を頂きました。北極海の目視海氷観測の現況に関しては、伊東素代氏（JAMSTEC）、舘山一孝氏（北見工大）、それに船舶搭載型の EM 氷厚観測に関しては Christian Haas 氏（カナダ・ヨーク大）から情報を頂きました。気象庁が実施している沿岸海氷観測に関しては児玉裕樹氏と市川真人氏（札幌管区気象台）から情報を提供して頂き、気象庁が刊行している海洋観測指針（2004 年版）の転載の承諾を得ました。英文校正は Alexander Fraser 氏（北海道大学）、資料のタイピングは石川恵里子氏（北大低温研）に協力して頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

気象庁（1999）：「海洋観測指針」より沿岸海氷観測, p21-73.

気象庁（2004）：「海洋観測指針」より沿岸海氷観測, p21-26.

大島慶一郎、牛尾収輝、大槻晃久 (2006): JARE における船上目視観測による海氷モニタリングに向けて　ー国際標準に基づく観測手順の簡略化とその活用例ー、南極資料、50(3)、304-316.

Allison, I., R.E. Brandt, and S.G. Warren (1993): East Antarctic sea ice: albedo, thickness, distribution, and snow cover. Journal of Geophysical Research, 98(C7), 12,417-12,429.

Brandt, R.E., S.G. Warren, A.P. Worby, T.C. Grenfell (2005): Surface albedo of the Antarctic sea ice zone. Journal of Climate, 18, 3606-3622.

Buynitskiy, V.K. (1967): Structure, principal properties, and strength of Antarctic sea ice.

Sov. Antarct. Exped. Inform. Bull., 65, 504-510.

Dierking, W. (1995): Laser profiling of the ice surface topography during the Winter Weddell Gyre Study 1992. Journal of Geophysical Research, 100(C3), 4807-4820.

Haas, C. (1998). Evaluation of ship-based electromagnetic-inductive thickness measurements ofsummer sea-ice in the Bellingshausen and Amundsen Seas, Antarctica.

Cold Regions Science and Technology, 27, 1-16.

Hibler, W.D., III, S.J. Mock, and W.B. Tucker, III (1974): Classification and variation of sea ice ridging in the western Arctic Basin, Journal of Geophysical Research, 79(18), 2735-2743.

Lange, M.A., and H. Eicken (1991): The sea ice thickness distribution in the Northwestern Weddell Sea. Journal of Geophysical Research. 96(C3), 4821-4837.

Timmermann, R., A. Beckmann, and H.H. Hellmer (2002): Simulations of ice-ocean dynamics in the Weddell Sea. I: Model configuration and validation. Journal of Geophysical Research, 107(C3), 3024, DOI: 10.1029/2000JC000741.

Toyota, T., S. Takatsuji, K. Tateyama, K. Naoki, K.I. Ohshima (2007): Properties of sea ice and overlying snow in the southern Sea of Okhotsk. Journal of Oceanography, 63, 393-411.

Tucker, W.B., III, and J.W. Govoni (1981): Morphological investigations of first-year sea ice pressure ridge sails. Cold Regions Science and Technology, 5, 1-12.

Uto, S., T. Toyota, H. Shimoda, K. Tateyama, and K. Shirasawa (2006). Ship-borne electromagnetic induction sounding of sea-ice thickness in the southern Sea of Okhotsk. Annals of Glaciology, 44, 253-260.

Wadhams, P., M.A. Lange, and S.F. Ackley (1987): The ice thickness distribution across the Atlantic sector of the Antarctic Ocean in midwinter. Journal of Geophysical Research, 92(C13), 14,535-14,552.

World Meteorological Organization (1970): Sea-ice nomenclature: Terminology, Codes, and Illustrated Glossary, WMO/OMM/BMO 259, TP 145, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

Worby, A.P., and I. Allison (1991): Ocean-atmosphere energy exchange over thin, variable concentration Antarctic pack-ice, Annals of Glaciology, 15, 184-190.

Worby, A.P., and H. Eicken (2009): Ship-based ice observation programs. In “Field techniques for sea ice research” edited by H. Eicken, R. Gradinger, M. Salganek, K. Shirasawa, D. Perovich, and M. Lepparanta, 565 pp., University of Alaska Press, Fairbanks, USA.

Worby, A.P., M.O. Jeffries, W.F. Weeks, K. Morris, and R. Jana (1996): The thickness distribution of sea ice and snow cover during late winter in the Bellingshausen and Amundsen Seas, Antarctica. Journal of Geophysical Research, 101(C12), 28,441-28,455.

Worby, A.P., and I. Allison (1999): A technique for making ship-based observations of Antarctic sea ice thickness and characteristics: Part I. Observational technique and results, Res. Rep. 14, pp. 1-23, Antarct. Coop. Res. Cent., Univ. of Tasmania, Australia.

Worby, A.P., C.A. Geiger, M.J. Paget, M.L. Van Woert, S.F. Ackley, and T.L. DeLiberty (2008): Thickness distribution of Antarctic sea ice. Journal of Geophysical Research, 113, C05S92, doi:10.1029/ 2007JC004254.

DUMMY

担当編集者一覧

編集委員会委員長　河野　健

Vol.1 担当　内田裕
　　青山道夫

Vol.2 担当　中野俊也
　　小畑元

Vol.3 担当　小畑元
　　中野俊也

Vol.4 担当　小川浩史
　　齊藤宏明

Vol.5 担当　成田尚史
　　青山道夫

Vol.6 担当　齊藤宏明

Vol.7 担当　小埜恒夫
　　中野俊也

Vol.8 担当　内田裕
　　中野俊也

Vol.9 担当　青山道夫
　　小埜恒夫

Vol.10 担当　太田秀和
　　宮尾孝

This page left intentionally blank

書名　　海洋観測ガイドライン
　　第七巻　Underway
編集者　日本海洋学会海洋観測ガイドライン編集委員会
発行者　日本海洋学会
発行日　2015 年 9 月　第 1 版
ISBN 978-4-908553-06-6

ISBN 978-4-908553-06-6